

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง
กรมทางหลวง

โครงการศึกษาวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิต (life cycle analysis) โครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง

รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report)

สิงหาคม 2566

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ.....1-1

1.1 บทนำ.....1-1

1.2 คำจำกัดความ.....1-1

1.3 วัตถุประสงค์.....1-2

1.4 ขอบเขตของโครงการ.....1-2

1.4.1 งานศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....1-2

1.4.2 งานศึกษารวบรวมข้อมูล สารสนเทศ และฐานข้อมูลภายในกรมทางหลวง.....1-3

1.4.3 งานคัดเลือกสายทาง.....1-3

1.4.4 งานสำรวจข้อมูลภาคสนาม.....1-4

1.4.5 งานตรวจสอบความถูกต้อง และสมบูรณ์ของข้อมูล.....1-5

1.4.6 งานวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน.....1-5

1.4.7 งานรายงานผลเพื่อติดตาม และประเมินผลการวิเคราะห์.....1-7

1.4.8 งานจัดทำคู่มือวิเคราะห์สมรรถนะ และประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis) โครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง (Manual).....1-7

1.4.9 งานจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์.....1-7

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....1-7

บทที่ 2 งานศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....2-1

2.1 งานศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....2-1

2.1.1 ศึกษาดัชนีชี้วัดด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนน.....2-1

2.1.2 ศึกษาเกณฑ์การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างถนนตามดัชนีชี้วัดด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนนจากในประเทศและต่างประเทศ.....2-23

2.1.3 ศึกษาเครื่องมือและเทคโนโลยีการสำรวจสภาพถนนตามมาตรฐานสากลหรือได้รับความนิยมในต่างประเทศ.....2-31

2.1.4 ศึกษาระบบฐานข้อมูลที่มีอยู่ของกรมทางหลวง และฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ.....2-45

2.1.5 ศึกษาวิธีการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนนจากหน่วยงานหรือองค์กรทั้งใน และหรือต่างประเทศ.....2-56

2.2 งานศึกษารวบรวมข้อมูลสารสนเทศ และฐานข้อมูลภายในกรมทางหลวง.....2-81

2.2.1 ระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทางหลวง (MIIS) โดยสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ.....2-81

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2 ระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (ROADNET) โดยสำนักบริหารบำรุงทาง..... 2-96
2.2.3 ระบบฐานข้อมูลสมรรถนะทางหลวง (iPAVEs) โดยสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง..... 2-100
2.2.4 ระบบสารสนเทศอุบัติเหตุบนทางหลวง (HAIMS) โดยสำนักอำนวยความปลอดภัย..... 2-106
2.2.5 ระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS) โดยสำนักอำนวยความปลอดภัย..... 2-108
2.2.6 โปรแกรมบริหารแผนงานบำรุงทาง (TPMS) โดยสำนักบริหารบำรุงทาง..... 2-113
2.2.7 สรุปข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลทั้งหมดของกรมทางหลวงจากการศึกษา และทำการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาทำการศึกษา สรุปข้อมูลออกมาเป็นตารางสรุป..... 2-119
2.3 งานคัดเลือกสายทาง..... 2-120
บทที่ 3 งานสำรวจข้อมูลภาคสนาม และตรวจสอบความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูล..... 3-1
3.1 งานสำรวจข้อมูลภาคสนาม..... 3-1
3.1.1 ความเสียหายของผิวทาง..... 3-1
3.1.2 ความเรียบของถนน..... 3-20
3.1.3 ความหนาของโครงสร้างถนน..... 3-50
3.1.4 ข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง..... 3-58
3.2 งานตรวจสอบความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูล..... 3-82
3.2.1 ตรวจสอบความเหมาะสมของจำนวนข้อมูล..... 3-82
3.2.2 ตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล..... 3-98
3.2.3 ความเรียบของถนน (IRI)..... 3-113
3.2.4 ความหนาของโครงสร้างถนน..... 3-114
3.2.5 ตรวจสอบความถูกต้องและความผิดปกติของข้อมูล..... 3-115

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 งานวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของถนน....4-1
4.1 งานวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของถนน....4-1
4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะของโครงสร้างถนน (Pavement Performance Analysis) ทางสถิติ และวิศวกรรม....4-1
4.1.2 การวิเคราะห์ประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis)....4-43
1) แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลดัชนีเป็นข้อมูลขาเข้า....4-43
2) แบบจำลองที่ทำการคัดกรองข้อมูลที่ไม่สมเหตุสมผลออกก่อนนำมาใช้สร้างแบบจำลอง....4-105
บทที่ 5 งานรายงานผลเพื่อติดตาม และประเมินผลการวิเคราะห์....5-1
5.1 งานรายงานผลเพื่อติดตาม และประเมินผลการวิเคราะห์....5-1
5.1.1 แสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะ และประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน....5-1
5.1.2 รายงานผลเพื่อติดตามและประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะ และประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน....5-3
5.1.3 เพื่อช่วยในการตัดสินใจ (Decision Making) ด้านการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินผลวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน ในระดับปฏิบัติการ (Operation Level)....5-5
5.2 การคำนวณดัชนี PMI....5-6
5.3 คู่มือการใช้งานหน้าเว็บเพื่อติดตามและประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน (Life Cycle Analysis)....5-8
5.3.1 การเข้าชมหน้าเว็บไซต์....5-8
5.3.2 หน้าเว็บสำหรับแสดงข้อมูล (Life Cycle Analysis)....5-8
5.3.3 หน้า Dashboard....5-9
5.3.4 หน้า Table....5-11
5.3.5 หน้า Graph....5-12
5.4 งานจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์....5-13
5.4.1 บทวีดิทัศน์....5-13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินงานโครงการ 6-1

6.1 งานศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และงานศึกษารวบรวมข้อมูลสารสนเทศจากฐานข้อมูลภายในกรมทางหลวง 6-1

6.2 งานคัดเลือกสายทาง และ งานสำรวจภาคสนาม 6-1

6.3 การวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของแต่ละด้านโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติขั้นสูง วิเคราะห์เคราะห์ตามแนวทางการดำเนินงานของกรมทางหลวง 6-2

6.4 ประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะ (Performance Analysis) โดยอาศัยข้อมูลที่มีของกรมทางหลวง และข้อมูลที่ได้จากโครงการ 6-3

6.5 การวิเคราะห์ประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis) 6-5

6.6 งานจัดทำคู่มือวิเคราะห์สมรรถนะ และประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis) โครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง (Manual) 6-8

6.7 งานจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ 6-11

6.8 สรุปผลที่ได้จากการดำเนินโครงการ 6-17

ภาคผนวก ก แบบสอบถามที่ใช้ในการวิเคราะห์ลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP)..... ก-1

ภาคผนวก ข การรวบรวมข้อมูลสารสนเทศ และฐานข้อมูลจากระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS) และระบบบริหารแผนงานทางหลวง (Plannet)..... ข-1

ภาคผนวก ค การคำนวณค่าความเสียหายของผิวทาง ค-1

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 ค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ของเครื่องมือทดสอบลักษณะพื้นผิวของผิวทาง....2-7
ตารางที่ 2-2 ค่าสัมประสิทธิ์ A, B, และ C ของเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทาน....2-7
ตารางที่ 2-3 ตารางสรุปประเภทความเสียหายของผิวทางลาดยางและหน่วยการวัด.... 2-15
ตารางที่ 2-4 ตารางสรุปประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีตและหน่วยการวัด 2-21
ตารางที่ 2-5 แสดงเกณฑ์การประเมินค่า MPD.... 2-22
ตารางที่ 2-6 เกณฑ์ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index: IRI) 2-24
ตารางที่ 2-7 ตารางแสดงระดับความขรุขระของผิวถนนเทียบกับค่า IRI.... 2-25
ตารางที่ 2-8 KPIs and Demerit Points for Maintenance Noncompliance Events.... 2-26
ตารางที่ 2-9 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางที่ระดับพึงระวังในประเทศออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ และสหรัฐอเมริกา.... 2-27
ตารางที่ 2-10 ค่า IFI ที่พึงมี ณ จุดต่าง ๆ บนถนน ภายใต้ความเร็วทดสอบที่ 91 กิโลเมตร/ชั่วโมง และค่า MTD ที่ 0.9 มิลลิเมตร.... 2-28
ตารางที่ 2-11 เกณฑ์การซ่อมบำรุงของกรมทางหลวง.... 2-29
ตารางที่ 2-12 ตารางเกณฑ์การประเมินค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างถนน 2-29
ตารางที่ 2-13 แสดงประเภทความเสียหายจำแนกตามประเภทผิวทาง 2-30
ตารางที่ 2-14 ตารางแสดงค่าดัชนีสภาพถนน Pavement Condition Index (PCI).... 2-31
ตารางที่ 2-15 ตำแหน่งของ Geophone เครื่องมือทดสอบ FWD 2-42
ตารางที่ 2-16 ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม, m.... 2-57
ตารางที่ 2-17 ค่าความแข็งแรงโครงสร้างคาดการณ์จากประเภทชั้นทาง.... 2-58
ตารางที่ 2-18 ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่า IRI สายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (AADT 1,000-2,500).... 2-60
ตารางที่ 2-19 ค่าปรับแก้การเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทาง 2-62
ตารางที่ 2-20 ตัวอย่างผลการทำนายค่า IRI ของสายทางปริมาณการจราจรและความแข็งแรงต่าง ๆ.... 2-63
ตารางที่ 2-21 แบบจำลองการเสื่อมสภาพทางที่ 1 จากการเสนอแนะการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของค่า IFI ของผิวทางจากการเก็บข้อมูลในสายทางของกรมทางหลวง.... 2-67
ตารางที่ 2-22 แบบจำลองการเสื่อมสภาพทางที่ 2 จากการเสนอแนะการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของค่า IFI ของผิวทางจากข้อมูลในห้องทดสอบ 2-67
ตารางที่ 2-23 ค่าเฉลี่ย Modulus วัสดุงานทางโดยทั่วไปของประเทศไทย 2-70

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 2-24 ดัชนีค่าคงที่ของการเกิดรอยแตก 2-71
ตารางที่ 2-25 ตัวอย่างการคำนวนระยะเวลาเกิดรอยแตกของสายทางชนิด Asphaltic Mix และพื้นทางชนิด Granular Base 2-71
ตารางที่ 2-26 ดัชนีค่าคงที่ของอัตราการขยายตัวของรอยแตก 2-73
ตารางที่ 2-27 ตัวอย่างการทำนายอัตราการขยายตัวรอยแตกของสายทางชนิดผิวทางชนิดแอสฟัลต์คอนกรีต และพื้นทางประเภทหินคลุก 2-74
ตารางที่ 2-28 ดัชนีค่าคงที่ของ Structural Deformation 2-76
ตารางที่ 2-29 ดัชนีค่าคงที่ของ Plastic Deformation 2-77
ตารางที่ 2-30 ตัวอย่างการคำนวนรอยร่องล้อของสายทางชนิด Asphaltic Mix และพื้นทางชนิด Granular Base 2-78
ตารางที่ 2-31 แสดงจำนวนข้อมูลในแต่ละปีของชนิดข้อมูลในฐานข้อมูลต่าง ๆ ของกรมทางหลวง 2-119
ตารางที่ 2-32 ปัจจัยที่จะพิจารณาคัดเลือกสายทางในการสำรวจ 2-120
ตารางที่ 2-33 ชนิดของความเสียหายของผิวทางแต่ละประเภท 2-121
ตารางที่ 2-34 จำนวนตอนควบคุมและระยะทางรวม แบ่งตามจำนวนพารามิเตอร์สภาพถนนที่มี 2-122
ตารางที่ 2-35 สายทางที่คัดเลือกทั้งหมด 44 ตอนควบคุม 2-124
ตารางที่ 2-36 สรุประยะทางของสายทางที่คัดเลือก แยกตามสำนักงานทางหลวง และแขวงทางหลวง 2-125
ตารางที่ 2-37 ประเภทของผิวทางของตอนควบคุมที่ถูกคัดเลือก 2-126
ตารางที่ 2-38 รายละเอียดของลำดับชั้นถนนของตอนควบคุมที่ถูกคัดเลือก 2-126
ตารางที่ 2-39 รายละเอียดของเกาะกลางถนนของตอนควบคุมที่ถูกคัดเลือก 2-126
ตารางที่ 2-40 รายละเอียดจำนวนช่องจราจรของตอนควบคุมที่ถูกคัดเลือก 2-127
ตารางที่ 3-1 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง โดยการใช้อุปกรณ์ LCMS 3-2
ตารางที่ 3-2 รายละเอียดกล้องถ่ายภาพผิวทาง 3-4
ตารางที่ 3-3 สายทางสำรวจค่าความเสียหายของผิวทาง 3-5
ตารางที่ 3-4 ข้อมูลสำรวจความเสียหายผิวทางด้วย LCMS 3-10
ตารางที่ 3-5 ข้อมูลสำรวจความเสียหายผิวทางด้วย Pavement Camera 3-13
ตารางที่ 3-6 ข้อมูลสำรวจความเสียหายผิวทางด้วย LCMS 3-16
ตารางที่ 3-7 ข้อมูลสำรวจความเสียหายผิวทางด้วย TPL 3-17
ตารางที่ 3-8 สรุปความเสียหายของผิวทาง AC ด้วย Pavement Camera และ LCMS 3-18

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 3-9 สรุปความเสียหายของผิวทาง CC ด้วย Pavement Camera และ LCMS 3-18
ตารางที่ 3-10 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 3-22
ตารางที่ 3-11 แสดงรายละเอียดเครื่องมือวัดระยะทาง 3-23
ตารางที่ 3-12 สายทางสำรวจค่าความเรียบของผิวทาง (IRI) 3-26
ตารางที่ 3-13 ตารางแสดงความหนาของโครงสร้างถนนในสายทางที่สำรวจ 3-51
ตารางที่ 3-14 ชนิดความเสียหายของผิวทางถนนในฐานข้อมูล 3-88
ตารางที่ 3-15 รายชื่อหน่วยงานที่รับผิดชอบ 3-104
ตารางที่ 3-16 ปริมาณข้อมูลผิดปกติของข้อมูล IRI และความเสียหายของถนนจากวิธี Mahalanobis .. 3-117
ตารางที่ 3-17 รายละเอียดตัวแปร Deflection แบ่งตามระยะการเก็บข้อมูล 3-120
ตารางที่ 3-18 ปริมาณข้อมูลผิดปกติของข้อมูล Deflection จากวิธี Mahalanobis 3-123
ตารางที่ 3-19 การตรวจสอบปริมาณข้อมูล IFI ตามเกณฑ์การซ่อมบำรุงของกรมทางหลวง 3-127
ตารางที่ 3-20 ปริมาณข้อมูลผิดปกติของข้อมูล Deflection โดยการนำมาค่า
Median Absolute Deviation (MAD) มาช่วยในคัดกรองข้อมูล 3-128
ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์ k_1 , k_2 และ k_3 4-2
ตารางที่ 4-2 รายละเอียดข้อมูล SCI แต่ละปีของผิวทางลาดยาง 4-4
ตารางที่ 4-3 เกณฑ์ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index: IRI) 4-4
ตารางที่ 4-4 ตารางแสดงระดับความขรุขระของผิวถนนเทียบกับค่า IRI 4-5
ตารางที่ 4-5 ตารางแสดงค่าดัชนีสภาพถนน Pavement Condition Index (PCI) 4-6
ตารางที่ 4-6 ข้อมูล PCI ในแต่ละประเภทผิวทาง 4-7
ตารางที่ 4-7 เกณฑ์การซ่อมบำรุงของกรมทางหลวง 4-8
ตารางที่ 4-8 มาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ 4-9
ตารางที่ 4-9 ตารางเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ 4-10
ตารางที่ 4-10 ค่าของดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมทริกซ์
(Random Consistency Index: R.I.) 4-12
ตารางที่ 4-11 รายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่ขอความอนุเคราะห์ในการตอบแบบสอบถาม 4-13
ตารางที่ 4-12 คำอธิบาย/นิยามของเกณฑ์ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะ
ของโครงสร้างถนน 4-14
ตารางที่ 4-13 ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยาง 4-15
ตารางที่ 4-14 ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนคอนกรีต 4-16

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4-15 ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยางของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง 4-16
ตารางที่ 4-16 ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนคอนกรีตของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง 4-17
ตารางที่ 4-17 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความแข็งแรงของโครงสร้างถนนลาดยาง 4-19
ตารางที่ 4-18 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความเรียบของถนนของผิวทางลาดยาง 4-19
ตารางที่ 4-19 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความเสียหายของผิวทางลาดยาง 4-19
ตารางที่ 4-20 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางลาดยาง 4-20
ตารางที่ 4-21 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความเรียบของถนนของผิวทางคอนกรีต 4-20
ตารางที่ 4-22 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความเสียหายของผิวทางของผิวทางคอนกรีต 4-20
ตารางที่ 4-23 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางคอนกรีต 4-21
ตารางที่ 4-24 สัดส่วนข้อมูล PMI ในแต่ละเกณฑ์ 4-42
ตารางที่ 4-25 ภาพรวมการสร้างแบบจำลอง 4-53
ตารางที่ 4-26 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง 4-53
ตารางที่ 4-27 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Grid Search 4-54
ตารางที่ 4-28 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Random Forest ของดัชนี SCI 4-54
ตารางที่ 4-29 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง IFI 4-56
ตารางที่ 4-30 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Grid Search 4-57
ตารางที่ 4-31 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Random Forest ของดัชนี IFI 4-57
ตารางที่ 4-32 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง 4-59
ตารางที่ 4-33 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง Neural Network 4-64
ตารางที่ 4-34 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Neural Network ของดัชนี IRI 4-65
ตารางที่ 4-35 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทาง 4-67
ตารางที่ 4-36 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง Neural Network 4-69
ตารางที่ 4-37 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Neural Network ของดัชนี PCI 4-70
ตารางที่ 4-38 ผลลัพธ์ MAPE และ MAE ที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละวิธีการเก็บข้อมูล 4-71
ตารางที่ 4-39 จำนวนข้อมูลตอนควบคุมที่มีการซ่อมบำรุงสายทาง 4-73
ตารางที่ 4-40 รหัสงานซ่อมบำรุงที่ส่งผลต่อดัชนีทั้ง 4 ด้านที่มีในฐานข้อมูล 4-74

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4-41 รายละเอียดงานซ่อมบำรุงทางที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง 4-74
ตารางที่ 4-42 รายละเอียดงานซ่อมบำรุงทางที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง ของผิวทางลาดยาง 4-76
ตารางที่ 4-43 รายละเอียดงานซ่อมบำรุงทางที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง ของผิวทางคอนกรีต 4-76
ตารางที่ 4-44 รายละเอียดงานซ่อมบำรุงทางที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง 4-78
ตารางที่ 4-45 ตัวอย่างผลลัพธ์การกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุงของผิวทางลาดยาง 4-79
ตารางที่ 4-46 ตัวอย่างผลลัพธ์การกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุงของผิวทางคอนกรีต 4-78
ตารางที่ 4-47 ภาพรวมการสร้างแบบจำลอง 4-79
ตารางที่ 4-48 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง 4-80
ตารางที่ 4-49 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Grid Search 4-81
ตารางที่ 4-50 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Random Forest ของดัชนี SCI 4-81
ตารางที่ 4-51 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง IFI 4-83
ตารางที่ 4-52 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Grid Search 4-84
ตารางที่ 4-53 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Random Forest ของดัชนี IFI 4-84
ตารางที่ 4-54 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง IRI 4-87
ตารางที่ 4-55 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง Neural Network 4-92
ตารางที่ 4-56 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Neural Network ของดัชนี IRI 4-93
ตารางที่ 4-57 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทาง 4-95
ตารางที่ 4-58 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง Neural Network 4-100
ตารางที่ 4-59 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Neural Network ของดัชนี PCI ของผิวทางลาดยาง 4-100
ตารางที่ 4-60 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Neural Network ของดัชนี PCI ของผิวทางคอนกรีต 4-101
ตารางที่ 4-61 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง IRI 4-107
ตารางที่ 4-62 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง PCI 4-107
ตารางที่ 4-63 สัดส่วนงานซ่อมบำรุงในแต่ละวิธีที่ส่งผลต่อสภาพถนน 4-109
ตารางที่ 4-64 รายละเอียดงานซ่อมบำรุงทางที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุงของดัชนี IRI 4-109
ตารางที่ 5-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ 5-15
ตารางที่ 6-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ 6-11

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2-1 อุปกรณ์เก็บค่าระดับของถนน (Quarter-Car Model) 2-1
รูปที่ 2-2 แรงฝืดประกอบด้วย แรง Adhesion และแรง Hysteresis....2-5
รูปที่ 2-3 การทำงานของเครื่องมือสำรวจสภาพโครงสร้างชั้นทางด้วยตุ้มน้ำหนักกระแทก 2-8
รูปที่ 2-4 หลุมบ่อ (Pothole)....2-11
รูปที่ 2-5 ยุบตัวเป็นแอ่ง (Depression)....2-11
รูปที่ 2-6 ร่องล้อ (Rutting)....2-12
รูปที่ 2-7 รอยปะซ่อม (Patching)....2-12
รูปที่ 2-8 ผิวทางหลุดร่อน (Raveling)....2-13
รูปที่ 2-9 รอยแตกร้าว (Cracks)....2-13
รูปที่ 2-10 รอยแตกร้าวขนาดใหญ่ (High Cracks)....2-14
รูปที่ 2-11 รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)....2-14
รูปที่ 2-12 รอยแตกร้าวตามขวาง (Transverse Cracks)....2-15
รูปที่ 2-13 รอยแตกกว้างมากกว่า 5 มิลลิเมตร (High Cracks)....2-16
รูปที่ 2-14 รอยต่อเสียหาย (Joint Cracks)....2-17
รูปที่ 2-15 รอยแตกตามมุม (Corner Cracks)....2-17
รูปที่ 2-16 รอยปะซ่อมที่เสียหาย (Patching)....2-18
รูปที่ 2-17 ผิวทางหลุดร่อน (Raveling)....2-19
รูปที่ 2-18 แผ่นทรุดตัวมากกว่า 10 เซนติเมตร (Depression)....2-19
รูปที่ 2-19 แผ่นคอนกรีตเสียหายทั้งแผ่น (Whole slab)....2-20
รูปที่ 2-20 รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)....2-20
รูปที่ 2-21 การจำลองแสดงความเสียหายแบบร่องล้อ....2-22
รูปที่ 2-22 การตรวจวัดความลึกร่องล้อด้วยเลเซอร์ 7 หัว....2-23
รูปที่ 2-23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับความเร็วของยานพาหนะ และประเภทของผิวถนน....2-24
รูปที่ 2-24 ตัวอย่างการจัดเก็บข้อมูล IRI ด้วยเครื่องมือ Reference Profiler....2-32
รูปที่ 2-25 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ Bump Integrator....2-33
รูปที่ 2-26 รถสำรวจติดตั้งอุปกรณ์ Bump Integrator....2-33
รูปที่ 2-27 ตัวอย่างอุปกรณ์ Laser Profilometer....2-34
รูปที่ 2-28 ตัวอย่างรถสำรวจติดตั้งอุปกรณ์ Laser Profilometer....2-34
รูปที่ 2-29 เครื่องมือ Fixed Slip....2-36

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2-30 เครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT) 2-36
รูปที่ 2-31 ตัวเครื่องทดสอบ DFT (หน่วย มิลลิเมตร) 2-37
รูปที่ 2-32 Water Supply (หน่วย มิลลิเมตร) 2-38
รูปที่ 2-33 แผ่นยางทดสอบ (Rubber slider) 2-39
รูปที่ 2-34 ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องทดสอบ DFT 2-39
รูปที่ 2-35 ตัวอย่างรถตู้ลากจูงและรถลากพ่วงทดสอบเครื่องมือ FWD 2-40
รูปที่ 2-36 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์ทดสอบ FWD 2-40
รูปที่ 2-37 ตัวอย่างการติดตั้ง Geophone บริเวณรอยต่อของผิวทางคอนกรีต 2-42
รูปที่ 2-38 Falling Weight Deflectometer (FWD) 2-43
รูปที่ 2-39 การตรวจวัดค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างทางด้วย BMB และ FWD 2-44
รูปที่ 2-40 รถสำรวจติดตั้งอุปกรณ์ Bump Integrator 2-44
รูปที่ 2-41 ข้อมูล ค่า IRI , rutting , MPD ในระบบฐานข้อมูล Roadnet 2-46
รูปที่ 2-42 ข้อมูลผิวทาง โครงสร้างทางและกายภาพในระบบฐานข้อมูล Roadnet 2-46
รูปที่ 2-43 ข้อมูลค่าความเสียดทานจากฐานข้อมูล MIIS 2-47
รูปที่ 2-44 ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระจากฐานข้อมูล MIIS 2-48
รูปที่ 2-45 ข้อมูลค่าการแอ่นตัวของถนนจากฐานข้อมูล MIIS 2-48
รูปที่ 2-46 ข้อมูล รายละเอียดอุบัติเหตุจากฐานข้อมูล HAIMS 2-49
รูปที่ 2-47 ข้อมูลปริมาณการจราจรแยกตามชนิดยานพาหนะจากฐานข้อมูล TIMS 2-50
รูปที่ 2-48 ข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุงจากฐานข้อมูล PLANET 2-51
รูปที่ 2-49 ข้อมูลแบบจำลองจากฐานข้อมูล TPMS 2-52
รูปที่ 2-50 แผนภูมิแสดงการเชื่อมโยงฐานข้อมูลกับระบบอื่นๆและที่ปรึกษาได้ทำการศึกษา ER diagram ของฐานข้อมูล IPAVEs 2-52
รูปที่ 2-51 แผนผัง ER diagram สำหรับการ query ข้อมูล 2-53
รูปที่ 2-52 แผนผัง ER diagram สำหรับข้อมูลจราจร 2-54
รูปที่ 2-53 แผนผัง ER diagram สำหรับฐานข้อมูลงานวิจัย 2-54
รูปที่ 2-54 แผนผัง ER diagram สำหรับฐานข้อมูลบุคลากร 2-55
รูปที่ 2-55 แผนผัง ER diagram สำหรับฐานข้อมูลแสดงข้อมูลบนหน้าเว็บ 2-55
รูปที่ 2-56 การกระจายของข้อมูล 4 ชุดที่มีค่ากลางและการกระจายเหมือนกันแต่ระดับความสัมพันธ์ต่างกัน 2-60

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2-57 เปรียบเทียบค่า IRI จริงของสายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง 2-61
รูปที่ 2-58 ตัวอย่างการพยากรณ์ค่า IRI 2-63
รูปที่ 2-59 การเปลี่ยนแปลงค่าความเสียดทานสากลของแผ่นแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Vollor & Hanson, 2006) 2-65
รูปที่ 2-60 ระยะเวลาการเริ่มเกิดรอยแตกสำหรับทางชนิด Non Stabilised Bases 2-72
รูปที่ 2-61 อัตราการขยายตัวของรอยแตก 2-74
รูปที่ 2-62 ความสัมพันธ์ระหว่างรอยแตกกับอายุการใช้งาน 2-78
รูปที่ 2-63 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเสื่อมสภาพของ E2 และปริมาณเพลามาตรฐานสะสม 2-79
รูปที่ 2-64 ตัวอย่างหน้าจอหลัก – Dashboard 2-82
รูปที่ 2-65 ตัวอย่างหน้าจอหลัก – การค้นหาทางหลวง 2-83
รูปที่ 2-66 ตัวอย่างหน้าสรุปข้อมูลการสำรวจในแต่ละตอนควบคุม 2-83
รูปที่ 2-67 ตัวอย่างหน้าจอการกรอกข้อมูลในหน้าสรุป 2-84
รูปที่ 2-68 ตัวอย่างหน้าจอแสดงค่าการสำรวจ Deflection 2-84
รูปที่ 2-69 ตัวอย่างหน้าแสดงกราฟแบบฮิสโตแกรม 2-85
รูปที่ 2-70 ตัวอย่างหน้าจอสำหรับแสดงผลข้อมูล Visual Inspection 2-85
รูปที่ 2-71 ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลค่า Skid ซึ่งสำรวจโดยใช้เครื่องมือ Portable Skid Resistance 2-86
รูปที่ 2-72 ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลค่า Skid ซึ่งสำรวจโดยใช้เครื่องมือ ASFT T-10 2-86
รูปที่ 2-73 ตัวอย่างหน้าจอการสำรวจด้วยอุปกรณ์ Borescope 2-87
รูปที่ 2-74 ตัวอย่างหน้าจอการสำรวจด้วยการ Coring 2-87
รูปที่ 2-75 ตัวอย่างหน้าจอการสำรวจด้วยเครื่องมือ GPR 2-87
รูปที่ 2-76 ตัวอย่างหน้าจอการสำรวจโพรงใต้ผิวจราจร 2-88
รูปที่ 2-77 ตัวอย่างหน้าจอข้อมูลสำรวจแหล่งวัสดุ 2-88
รูปที่ 2-78 ตัวอย่างหน้าจอแสดงแผนภูมิการทดสอบ Field Vane Shear 2-89
รูปที่ 2-79 ตัวอย่างหน้าจอแสดงข้อมูลการทดสอบ Field Vane Shear 2-89
รูปที่ 2-80 ตัวอย่างหน้าจอการแสดงผลข้อมูล CPT 2-90
รูปที่ 2-81 ตัวอย่างหน้าจอแสดงข้อมูล Land Slide 2-90
รูปที่ 2-82 ตัวอย่างหน้าจอแสดงข้อมูลหญ้าแฝก 2-91
รูปที่ 2-83 ตัวอย่างหน้าจอแสดงข้อมูลโรงโม่หิน 2-91

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2-84 ตัวอย่างหน้าจอสำหรับการแสดงผลข้อมูล Test Section 2-92
รูปที่ 2-85 ตัวอย่างหน้าจอสำหรับการนำเข้าข้อมูล Test Section 2-92
รูปที่ 2-86 ตัวอย่างหน้าจอแสดงรายละเอียดข่าวประกาศ 2-93
รูปที่ 2-87 ตัวอย่างหน้าจอสำหรับส่งออกรายงาน 2-93
รูปที่ 2-88 หน้าจอ Preview รายงาน 2-94
รูปที่ 2-89 ตัวอย่างหน้าจอตั้งค่า Web Service 2-95
รูปที่ 2-90 ตัวอย่างหน้าจอการตั้งค่า Soil Description 2-95
รูปที่ 2-91 ตัวอย่างการตั้งค่าเครื่องมือ Genor Vane 2-96
รูปที่ 2-92 หน้าหลักระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (RoadNet) 2-97
รูปที่ 2-93 หน้ารายละเอียดข้อมูลลักษณะผิวทาง 2-99
รูปที่ 2-94 หน้ารายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ 2-99
รูปที่ 2-95 หน้าหลักของระบบฐานข้อมูลสมรรถนะทางหลวง 2-100
รูปที่ 2-96 หน้าจอแสดงการเลือกแท็บพื้นที่/สายทาง 2-100
รูปที่ 2-97 หน้าจอแสดงแท็บเวลา 2-101
รูปที่ 2-98 หน้าจอแสดงแท็บข้อมูล 2-101
รูปที่ 2-99 หน้าจอแสดงแท็บกรองข้อมูล/เรียงลำดับ 2-101
รูปที่ 2-100 หน้าจอแสดงผลการค้นหาข้อมูลในรูปแบบตาราง 2-102
รูปที่ 2-101 หน้าจอการตั้งค่าเขตข้อมูล 2-102
รูปที่ 2-102 หน้าจอแสดงแท็บข้อมูล 2-103
รูปที่ 2-103 หน้าจอแสดงผลข้อมูลรูปแบบแผนที่ 2-103
รูปที่ 2-104 หน้าจอแสดงแท็บข้อมูล 2-104
รูปที่ 2-105 หน้าจอแสดงผลการค้นหาข้อมูลรูปแบบ Spatial 2-104
รูปที่ 2-106 หน้าจอแสดงแท็บข้อมูล 2-105
รูปที่ 2-107 หน้าจอแสดงผลการค้นหา 2-105
รูปที่ 2-108 หน้าหลักระบบสารสนเทศอุบัติเหตุบนทางหลวง (HAIMS) 2-106
รูปที่ 2-109 หน้าแสดงตำแหน่งการเกิดอุบัติเหตุบนแผนที่ 2-107
รูปที่ 2-110 หน้าหลักระบบ TIMS 2-109
รูปที่ 2-111 หน้าจุดสำรวจระบบ TIMS 2-109
รูปที่ 2-112 หน้าจอการใช้งาน AADT รายจุด 2-110

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2-113 หน้าจอการใช้งาน AADT รายจุด 2-111
รูปที่ 2-114 หน้ารายงานปริมาณจราจรบนทางหลวง 2-111
รูปที่ 2-115 หน้าฐานข้อมูล 2-112
รูปที่ 2-116 หน้าจอหลัก 2-113
รูปที่ 2-117 หน้าจอคัดกรองสายทางการบำรุงรักษาเชิงกลยุทธ์ 2-114
รูปที่ 2-118 หน้ากำหนดงบประมาณด้วยเงื่อนไขไม่จำกัดงบประมาณ 2-115
รูปที่ 2-119 หน้ากำหนดงบประมาณ 2-115
รูปที่ 2-120 หน้ากำหนดงบประมาณด้วยเงื่อนไข IRI เป้าหมาย 2-116
รูปที่ 2-121 หน้าจอคัดกรองสายทางการบำรุงรักษาประจำปี 2-116
รูปที่ 2-122 หน้ากำหนดงบประมาณด้วยเงื่อนไขไม่จำกัดงบประมาณ 2-117
รูปที่ 2-123 หน้ากำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์ 2-117
รูปที่ 2-124 หน้ากำหนดงบประมาณด้วยเงื่อนไขจำกัดงบประมาณตามหน่วยงาน 2-118
รูปที่ 2-125 หน้ากำหนดงบประมาณด้วยเงื่อนไขจำกัดงบประมาณตามวิธีซ่อม 2-118
รูปที่ 2-126 หน้ากำหนดงบประมาณด้วยเงื่อนไข IRI เป้าหมา 2-118
รูปที่ 2-127 การกระจายตัวของตอนควบคุมที่มีจำนวนพารามิเตอร์ที่สามารถใช้บ่งชี้สภาพถนน ตั้งแต่ 1-10 ตัว 2-122
รูปที่ 3-1 อุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) และตัวอย่างภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) 3-2
รูปที่ 3-2 กล้องถ่ายภาพผิวจราจร 3-3
รูปที่ 3-3 ตัวอย่างภาพจากกล้องถ่ายภาพผิวทาง ที่สามารถคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งของภาพได้ 3-4
รูปที่ 3-4 รูปภาพแสดงการเปรียบเทียบความเสียหายจากเครื่องมือ LCMS กับ TPL ผิวทาง AC 3-19
รูปที่ 3-5 รูปภาพแสดงการเปรียบเทียบความเสียหายจากเครื่องมือ LCMS กับ TPL ผิวทาง CC 3-19
รูปที่ 3-6 ตัวอย่างการจำแนกระดับขั้น (Class) ของอุปกรณ์ตรวจวัดตามระดับความแม่นยำ และความถี่ของการบันทึกข้อมูลตามระยะทางสำรวจ เพื่อประมวลผลค่าโพรไฟล์ของผิวทาง (Pavement Profile) ตามมาตรฐาน ASTM E950 3-20
รูปที่ 3-7 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 3-21
รูปที่ 3-8 แสดงการทำงานเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 3-21
รูปที่ 3-9 รายละเอียดเครื่องวัดระยะทาง 3-23
รูปที่ 3-10 อุปกรณ์รับสัญญาณและชุดบันทึกข้อมูล 3-24
รูปที่ 3-11 แสดงการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ภายในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล 3-24

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-12 ลักษณะของรถสำรวจที่ใช้ในการสำรวจ 3-25
รูปที่ 3-13 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-30
รูปที่ 3-14 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-30
รูปที่ 3-15 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-31
รูปที่ 3-16 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-31
รูปที่ 3-17 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-32
รูปที่ 3-18 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-32
รูปที่ 3-19 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-33
รูปที่ 3-20 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-33
รูปที่ 3-21 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-34
รูปที่ 3-22 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-34
รูปที่ 3-23 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-35
รูปที่ 3-24 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-35
รูปที่ 3-25 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-36
รูปที่ 3-26 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-36
รูปที่ 3-27 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-37
รูปที่ 3-28 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-37
รูปที่ 3-29 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-38
รูปที่ 3-30 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-38
รูปที่ 3-31 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-39
รูปที่ 3-32 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-39
รูปที่ 3-33 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-40
รูปที่ 3-34 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-40
รูปที่ 3-35 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-41
รูปที่ 3-36 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-41
รูปที่ 3-37 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-42
รูปที่ 3-38 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-42
รูปที่ 3-39 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-43
รูปที่ 3-40 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-43

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-41 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-44
รูปที่ 3-42 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-44
รูปที่ 3-43 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-45
รูปที่ 3-44 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-45
รูปที่ 3-45 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-46
รูปที่ 3-46 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-46
รูปที่ 3-47 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-47
รูปที่ 3-48 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-47
รูปที่ 3-49 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-48
รูปที่ 3-50 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-48
รูปที่ 3-51 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-49
รูปที่ 3-52 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-49
รูปที่ 3-53 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร 3-50
รูปที่ 3-54 ตัวอย่างเอกสารงานซ่อมย้อนหลัง 4 ปี (งานระบบ 27 ช่อง) 3-58
รูปที่ 3-55 ตัวอย่างหน้าจอระบบฐานข้อมูลแหล่งวัสดุของกรมทางหลวง 3-59
รูปที่ 3-56 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-60
รูปที่ 3-57 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-60
รูปที่ 3-58 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-61
รูปที่ 3-59 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-61
รูปที่ 3-60 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-62
รูปที่ 3-61 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-62
รูปที่ 3-62 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-63
รูปที่ 3-63 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-63
รูปที่ 3-64 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-64
รูปที่ 3-65 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-64
รูปที่ 3-66 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-65
รูปที่ 3-67 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-65
รูปที่ 3-68 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-66
รูปที่ 3-69 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-66

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-70 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-67
รูปที่ 3-71 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-67
รูปที่ 3-72 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-68
รูปที่ 3-73 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-68
รูปที่ 3-74 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-69
รูปที่ 3-75 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-69
รูปที่ 3-76 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-70
รูปที่ 3-77 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-70
รูปที่ 3-78 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-71
รูปที่ 3-79 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-71
รูปที่ 3-80 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-72
รูปที่ 3-81 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-72
รูปที่ 3-82 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-73
รูปที่ 3-83 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-73
รูปที่ 3-84 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-74
รูปที่ 3-85 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-74
รูปที่ 3-86 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-75
รูปที่ 3-87 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-75
รูปที่ 3-88 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-76
รูปที่ 3-89 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-76
รูปที่ 3-90 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-77
รูปที่ 3-91 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-77
รูปที่ 3-92 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-78
รูปที่ 3-93 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-78
รูปที่ 3-94 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-79
รูปที่ 3-95 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-79
รูปที่ 3-96 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร 3-80
รูปที่ 3-97 ตัวอย่างหนังสือขอความอนุเคราะห์ข้อมูลผ่านกรมทางหลวงไปยังกรมอุตุนิยมวิทยา 3-81
รูปที่ 3-98 แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน และสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ... 3-82

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-99 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในฐานข้อมูลโดยแบ่งตามประเภทผิวทางที่มีและไม่มีข้อมูล IRI 3-84
รูปที่ 3-100 ระยะทางทั้งหมดในแต่ละปีที่มีข้อมูล IRI แบ่งตามประเภทผิวทาง..... 3-84
รูปที่ 3-101 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในฐานข้อมูลโดยแบ่งตามประเภทผิวทางที่มี
และไม่มีข้อมูล Deflection 3-86
รูปที่ 3-102 ระยะทางทั้งหมดในแต่ละปีที่มีข้อมูล Deflection ประเภทผิวทางลาดยาง..... 3-87
รูปที่ 3-103 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในฐานข้อมูลโดยแบ่งตามประเภทผิวทางที่มี
และไม่มีข้อมูลความเสียหายของถนน 3-88
รูปที่ 3-104 ระยะทางทั้งหมดในแต่ละปีที่มีข้อมูลความเสียหายของถนน ประเภทผิวทางลาดยาง..... 3-89
รูปที่ 3-105 ระยะทางทั้งหมดในแต่ละปีที่มีข้อมูลความเสียหายของถนน ประเภทผิวทางคอนกรีต 3-90
รูปที่ 3-106 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในฐานข้อมูลโดยแบ่งตามประเภทผิวทางที่มีและไม่มีข้อมูล IFI..... 3-91
รูปที่ 3-107 ระยะทางทั้งหมดในแต่ละปีที่มีข้อมูล IFI แบ่งตามประเภทผิวทาง..... 3-92
รูปที่ 3-108 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในการสำรวจความเรียบของถนน (IRI)
โดยแบ่งตามประเภทผิวทาง 3-93
รูปที่ 3-109 ระยะทางทั้งหมดในการสำรวจค่าความเรียบของถนน 3-94
รูปที่ 3-110 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในการสำรวจความเรียบของถนน (IRI)
โดยแบ่งตามประเภทผิวทาง 3-95
รูปที่ 3-111 ระยะทางทั้งหมดในการสำรวจค่าความเรียบของถนน 3-95
รูปที่ 3-112 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในการสำรวจความหนาของโครงสร้างถนน
โดยแบ่งตามประเภทผิวทาง 3-96
รูปที่ 3-113 ระยะทางทั้งหมดในการสำรวจค่าความหนาของโครงสร้างถนน 3-97
รูปที่ 3-114 ระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล IRI ต่อเนื่องกัน 3-99
รูปที่ 3-115 ระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล Deflection ต่อเนื่องกัน..... 3-100
รูปที่ 3-116 ระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูลความเสียหายของถนนต่อเนื่องกัน 3-101
รูปที่ 3-117 ระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล IFI ต่อเนื่องกัน..... 3-103
รูปที่ 3-118 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูล IRI ในแต่ละภูมิภาค..... 3-105
รูปที่ 3-119 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล IRI
ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด..... 3-105
รูปที่ 3-120 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูล IRI ในตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่อง 4 ปี..... 3-106

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-121 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล IRI ต่อเนื่องกัน 4 ปี ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด 3-106
รูปที่ 3-122 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูล Deflection ในแต่ละภูมิภาค 3-107
รูปที่ 3-123 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล Deflection ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด 3-108
รูปที่ 3-124 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูลความเสียหายของถนนในแต่ละภูมิภาค 3-109
รูปที่ 3-125 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูลความเสียหายของถนน ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด 3-109
รูปที่ 3-126 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูลความเสียหายของถนนในตอนควบคุมย่อย ที่มีข้อมูลต่อเนื่อง 4 ปี 3-110
รูปที่ 3-127 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูลความเสียหายของถนน ในตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่อง 4 ปีแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบ 3-110
รูปที่ 3-128 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูล IFI ในแต่ละภูมิภาค 3-111
รูปที่ 3-129 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล IFI ในแต่ละหน่วยงาน ที่รับผิดชอบทั้งหมด 3-111
รูปที่ 3-130 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูลสำรวจ Road Distress 3-112
รูปที่ 3-131 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดจากการสำรวจ ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด 3-113
รูปที่ 3-132 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูลสำรวจ IRI 3-113
รูปที่ 3-133 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดจากการสำรวจ ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด 3-114
รูปที่ 3-134 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูลสำรวจความหนาของโครงสร้างถนน 3-114
รูปที่ 3-135 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดจากการสำรวจ ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด 3-115
รูปที่ 3-136 ข้อมูล IRI ในแต่ละปีแบ่งตามประเภทผิวทาง 3-117
รูปที่ 3-137 ข้อมูลผิดปกติของข้อมูล IRI กับความเสียหายของถนนที่ได้จากวิธี Mahalanobis ของผิวทางลาดยาง 3-118
รูปที่ 3-138 ข้อมูลผิดปกติของข้อมูล IRI กับความเสียหายของถนนที่ได้จากวิธี Mahalanobis ของผิวทางคอนกรีต 3-119

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-139 ข้อมูล Deflection_1 ในแต่ละปีของผิวทางลาดยาง 3-120
รูปที่ 3-140 ข้อมูล Deflection_1 ถึง Deflection_4 ในแต่ละปีของผิวทางลาดยาง 3-121
รูปที่ 3-141 ข้อมูล Deflection_5 ถึง Deflection_8 ในแต่ละปีของผิวทางลาดยาง 3-122
รูปที่ 3-142 ข้อมูลผิดปกติของข้อมูล deflection ที่ได้จากวิธี Mahalanobis 3-123
รูปที่ 3-143 ข้อมูลผิดปกติของข้อมูล deflection ที่ได้จากวิธี Mahalanobis (ต่อ) 3-124
รูปที่ 3-144 ข้อมูลความเสียหายของถนนแต่ละประเภทของผิวทางลาดยาง 3-125
รูปที่ 3-145 ข้อมูลความเสียหายของถนนแต่ละประเภทของผิวทางคอนกรีต 3-126
รูปที่ 3-146 ข้อมูล IFI ในแต่ละปีแบ่งตามประเภทผิวทาง 3-127
รูปที่ 3-147 ข้อมูลผิดปกติของข้อมูล IFI ที่ได้จากการนำมาค่า Median Absolute Deviation (MAD) มาช่วยในคัดกรองข้อมูล 3-128
รูปที่ 3-148 ข้อมูลสำรวจ Road Distress สำหรับผิวทางลาดยาง 3-130
รูปที่ 3-149 ข้อมูลสำรวจ Road Distress สำหรับผิวทางคอนกรีต 3-132
รูปที่ 3-150 ข้อมูลสำรวจ IRI 3-133
รูปที่ 3-151 ข้อมูลความหนาของโครงสร้างถนน 3-134
รูปที่ 4-1 ข้อมูล SCI แต่ละปีของผิวทางลาดยาง 4-3
รูปที่ 4-2 ข้อมูล IRI แต่ละปีของผิวทางแต่ละประเภท 4-5
รูปที่ 4-3 ข้อมูล PCI แต่ละปีของผิวทางแต่ละประเภท 4-6
รูปที่ 4-4 ข้อมูล PCI แต่ของผิวทางแต่ละประเภท 4-7
รูปที่ 4-5 ข้อมูล IFI แต่ละปีของผิวทางแต่ละประเภท 4-8
รูปที่ 4-6 โครงสร้างเกณฑ์ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยาง 4-14
รูปที่ 4-7 โครงสร้างเกณฑ์ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนนคอนกรีต 4-14
รูปที่ 4-8 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความแข็งแรงของโครงสร้างถนนลาดยาง 4-22
รูปที่ 4-9 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความเรียบของถนนของผิวทางลาดยาง 4-24
รูปที่ 4-10 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความเสียหายของผิวทางลาดยาง 4-26
รูปที่ 4-11 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางลาดยาง 4-28
รูปที่ 4-12 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความเรียบของถนนของผิวทางคอนกรีต 4-30
รูปที่ 4-13 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความเสียหายของผิวทางคอนกรีต 4-32

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-14 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางคอนกรีต 4-34
รูปที่ 4-15 การจำแนกลำดับชั้นทางหลวงแผ่นดิน 4-38
รูปที่ 4-16 ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างถนนในแต่ละลำดับชั้นถนน 4-38
รูปที่ 4-17 ค่าความเรียบของถนนในแต่ละลำดับชั้นถนน 4-39
รูปที่ 4-18 ค่าความเสียหายของผิวทางในแต่ละลำดับชั้นถนน..... 4-40
รูปที่ 4-19 ค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางในแต่ละลำดับชั้นถนน 4-40
รูปที่ 4-20 โครงสร้างของ LSTM Cell 4-47
รูปที่ 4-21 การทำงานของ Forget Gate Layer..... 4-47
รูปที่ 4-22 การทำงานของ Input Gate Layer..... 4-48
รูปที่ 4-23 การทำงานของ Update Cell State 4-49
รูปที่ 4-24 การทำงานของ Output Gate Layer 4-49
รูปที่ 4-25 แผนภาพอธิบายการคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามระยะทาง 4-51
รูปที่ 4-26 การคำนวณปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ยตามระยะทาง 4-52
รูปที่ 4-27 ค่า SCI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest ทุก ๆ 100 เมตร 4-55
รูปที่ 4-28 ค่า SCI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest 4-55
รูปที่ 4-29 ค่า IFI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest ในแต่ละทุก ๆ 100 เมตร..... 4-58
รูปที่ 4-30 ค่า IFI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest..... 4-58
รูปที่ 4-31 ค่า IRI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ทุก ๆ 100 เมตร 4-65
รูปที่ 4-32 ค่า IRI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network..... 4-66
รูปที่ 4-33 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ทุก ๆ 100 เมตรตำแหน่งที่เก็บข้อมูล ด้วย LCMS..... 4-70
รูปที่ 4-34 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ทุก ๆ 100 เมตรตำแหน่งที่เก็บข้อมูล ด้วย TPL 4-71
รูปที่ 4-35 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network..... 4-72
รูปที่ 4-36 ความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของถนนกับการซ่อมบำรุง 4-73
รูปที่ 4-37 ผลการเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีของดัชนีความเรียบของถนน..... 4-75
รูปที่ 4-38 ผลการเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีของดัชนีความเสียหายของถนน ของผิวทางลาดยาง 4-76
รูปที่ 4-39 ผลการเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีของดัชนีความเสียหายของถนน ของผิวทางคอนกรีต..... 4-77

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-40 ค่า SCI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest ทุก ๆ 100 เมตร 4-82
รูปที่ 4-41 ค่า SCI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest 4-82
รูปที่ 4-42 ค่า IFI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest ในแต่ละช่วง 100 เมตร 4-85
รูปที่ 4-43 ค่า IFI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest 4-85
รูปที่ 4-44 ค่า IRI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ทุก ๆ 100 เมตร 4-93
รูปที่ 4-45 ค่า IRI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network 4-94
รูปที่ 4-46 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ทุก ๆ 100 เมตรของดัชนี PCI ของผิวทางลาดยาง 4-101
รูปที่ 4-47 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ทุก ๆ 100 เมตรของดัชนี PCI ของผิวทางคอนกรีต 4-102
รูปที่ 4-48 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ของผิวทางลาดยาง 4-103
รูปที่ 4-49 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ของผิวทางคอนกรีต 4-104
รูปที่ 4-50 ตัวอย่างการคัดกรองข้อมูล IRI ก่อนนำมาสร้างแบบจำลอง 4-106
รูปที่ 4-51 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง IRI ที่มีการซ่อมบำรุงสายทาง 4-108
รูปที่ 4-52 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง IRI ที่ไม่มีการซ่อมบำรุงสายทาง 4-108
รูปที่ 4-53 ผลการเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีของดัชนีความเรียบของถนน 4-110
รูปที่ 4-54 ประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงถนนของแต่ละวิธีที่ส่งผลต่อค่า IRI 4-111
รูปที่ 4-55 ผลการเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีของดัชนีความเสียหายของถนน ของผิวทางลาดยาง 4-112
รูปที่ 4-56 ผลการเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีของดัชนีความเสียหายของถนน ของผิวทางคอนกรีต 113
รูปที่ 4-57 ประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงถนนของแต่ละวิธีที่ส่งผลต่อค่าความเสียหายผิวทางลาดยาง 4-114
รูปที่ 4-58 ประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงถนนของแต่ละวิธีที่ส่งผลต่อค่าความเสียหายผิวทางคอนกรีต 4-115
รูปที่ 5-1 ตัวอย่างการแสดงผลดัชนีทั้ง 5 ดัชนีบนแผนที่ 5-2
รูปที่ 5-2 ตัวอย่างส่วนตารางรายละเอียดแต่ละค่าดัชนีที่ผ่านเกณฑ์ 5-2
รูปที่ 5-3 ตัวอย่างส่วนกราฟที่ใช้แสดงรายละเอียดคาดการณ์ของแต่ละดัชนี 5-3
รูปที่ 5-4 ตัวอย่างการแสดงผลรายงานในรูปแบบ Dashboard 5-4
รูปที่ 5-5 ตัวอย่างการค่าดัชนีในแต่ละช่วงถนน 5-4
รูปที่ 5-6 ตัวอย่างการแสดงผลถนนที่ผ่านเกณฑ์และถนนที่สำรวจ 5-5

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5-7 ตัวอย่างแสดงผลส่วนของหน้าแสดงแผนผังกราฟ 5-6
รูปที่ 5-21 การเข้าชมหน้าเว็บไซต์ 5-8
รูปที่ 5-22 หน้า Dashboard 5-9
รูปที่ 5-23 Filter หน่วยงาน.....5-9
รูปที่ 5-24 Filter ปี และหน่วยงาน.....5-9
รูปที่ 5-25 ผลลัพธ์การ Filter 5-9
รูปที่ 5-26 แสดงข้อมูลการแบ่งเกณฑ์ของแต่ละดัชนี้จะแบ่งเป็น 5 ระดับ 5-10
รูปที่ 5-27 หน้า Table 5-11
รูปที่ 5-28 รายละเอียดข้อมูลของถนน..... 5-11
รูปที่ 5-29 ข้อมูลค่าเฉลี่ยของดัชนีชี้วัดถนนในแต่ละช่วงกิโลเมตรในรูปแบบกราฟ 5-12
รูปที่ 5-30 วีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ 5-20
รูปที่ 6-1 แสดงจำนวนข้อมูลในแต่ละปีของชนิดข้อมูลในฐานข้อมูลต่าง ๆ ของกรมทางหลวง.....6-1
รูปที่ 6-2 แผนผังการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ.....6-5
รูปที่ 6-3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลกระทบการซ่อมบำรุงและกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุง.....6-6
รูปที่ 6-4 แผนผังการคำนวณค่าดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง (PMI).....6-9
รูปที่ 6-5 วีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ 6-17

บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำ

กรมทางหลวงเป็นหน่วยงานกำกับ ดูแล และรับผิดชอบโครงข่ายทางหลวงทั่วประเทศ เพื่อให้ประชาชนผู้ใช้ทางได้รับความสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย กรมทางหลวงดำเนินการสำรวจและประเมินสภาพทางหลวงทั่วประเทศเป็นประจำทุกปี เพื่อนำข้อมูลมาบริหารจัดการและวางแผนงบประมาณในการซ่อมบำรุงและบูรณะทางหลวง แต่เนื่องจากโครงข่ายทางหลวงมีอยู่ครอบคลุมทั่วประเทศ และการจัดสรรงบประมาณประจำปีมีค่อนข้างจำกัด ดังนั้น กรมทางหลวงจำเป็นต้องมีวิธีการวิเคราะห์ ติดตาม และประเมินผล รวมถึงการบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดประโยชน์สูงสุดต่อระบบโครงข่ายทางหลวงของประเทศ ปัจจุบันวิศวกรรมและเทคโนโลยีการสำรวจสภาพถนนมีความเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็วและทันสมัย หลายองค์กรและหน่วยงานด้านงานทางทั่วโลกให้ความสำคัญในการจัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้บริหารจัดการสินทรัพย์ (Asset Management) วิเคราะห์สมรรถนะ (Performance Analysis) และประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis) ของโครงสร้างถนน

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง เห็นความสำคัญของการใช้ฐานข้อมูลการสำรวจ และประเมินสภาพทางหลวงทั่วประเทศ ในการวิเคราะห์สมรรถนะ และประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง เพื่อประกอบการพิจารณาจัดลำดับความสำคัญและการตัดสินใจด้านการวางแผนซ่อมบำรุงทาง การวางแผนงบประมาณประจำปี การกำหนดรูปแบบทางเลือกวิธีการซ่อมบำรุงและบูรณะโครงสร้างถนนระดับโครงการ (Project Level) และระดับโครงข่ายทางหลวง (Network Level) ของกรมทางหลวงอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่ากับงบประมาณของประเทศ

1.2 คำจำกัดความ

1.2.1 ผู้ว่าจ้าง หมายถึง กรมทางหลวง โดยสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง

1.2.2 ผู้ยื่นข้อเสนอ หมายถึง นิติบุคคล หรือกลุ่มนิติบุคคล ที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนด และมีสิทธิ์เข้ายื่นข้อเสนอเพื่อเข้ามารับจ้างดำเนินโครงการนี้

1.2.3 ที่ปรึกษา หมายถึง ผู้ที่ได้รับการพิจารณาคัดเลือกจากคณะกรรมการดำเนินงานจ้างที่ปรึกษา ฯ และลงนามในสัญญาจ้างกับกรมทางหลวง

1.3 วัตถุประสงค์

กรมทางหลวงโดยสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง มีวัตถุประสงค์จะว่าจ้างที่ปรึกษา ดังนี้

1.3.1 เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง

1.3.2 เพื่อจัดทำรูปแบบการนำเสนอและแสดงผลการวางแผนซ่อมบำรุงทาง การวางแผนงบประมาณประจำปี

1.3.3 เพื่อกำหนดรูปแบบทางเลือกวิธีการซ่อมบำรุง และบูรณะโครงสร้างถนน

1.4 ขอบเขตของโครงการ

ขอบเขตของงานมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.4.1 งานศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่ปรึกษาจะเสนอกรอบแนวคิดการศึกษา วิธีการ และแผนงานในงานศึกษาที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมและเทคโนโลยีการสำรวจสภาพถนน ประกอบด้วย

1) ศึกษาดัชนีชี้วัดด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนน ได้แก่ ข้อมูลความแข็งแรงของโครงสร้างถนน ความเรียบของถนน ความเสียหายของผิวทาง ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง และข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน
2) ศึกษาเกณฑ์การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างถนนตามดัชนีชี้วัดด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนนจากในประเทศและต่างประเทศ
3) ศึกษาเครื่องมือและเทคโนโลยีการสำรวจสภาพถนนตามมาตรฐานสากล หรือได้รับความนิยมในต่างประเทศ ได้แก่ เครื่องมือสำรวจโครงสร้างถนน เครื่องมือสำรวจความเรียบของถนน เครื่องมือสำรวจความเสียหายของผิวทาง และเครื่องมือสำรวจความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง
4) ศึกษาระบบฐานข้อมูลที่มีอยู่ของกรมทางหลวง และฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ได้แก่ ข้อมูลงานทะเบียนทางหลวง ข้อมูลเรขาคณิตของโครงข่ายทางหลวง
5) ศึกษาวิธีการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนนจากหน่วยงานหรือองค์กรทั้งใน และหรือต่างประเทศ (ถ้ามี)

1.4.2 งานศึกษารวบรวมข้อมูล สารสนเทศ และฐานข้อมูลภายในกรมทางหลวง

ที่ปรึกษาจะศึกษารวบรวมข้อมูล สารสนเทศ และฐานข้อมูลจากสำนักต่าง ๆ ของกรมทางหลวง ในรูปแบบของดิจิทัลไฟล์ หรือเอกสารข้อมูล ประกอบด้วยอย่างน้อยดังต่อไปนี้

1) ระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทางหลวง (MIIS) โดยสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ยกตัวอย่างเช่น ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ค่าการแอ่นตัวของถนน (Pavement Deflection) ค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง (Friction) เป็นต้น
2) ระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (ROADNET) โดยสำนักบริหารบำรุงทาง ยกตัวอย่างเช่น ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ข้อมูลชนิดผิวทาง (Pavement Type) ค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) เป็นต้น
3) ระบบฐานข้อมูลสมรรถนะทางหลวง (iPAVEs) โดยสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง ยกตัวอย่างเช่น ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างถนน (Pavement Deflection) เป็นต้น
4) ระบบสารสนเทศอุบัติเหตุบนทางหลวง (HAIMS) โดยสำนักอำนวยความปลอดภัย ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลจำนวนอุบัติเหตุ ข้อมูลรายละเอียดของอุบัติเหตุนั้น ๆ
5) ระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS) โดยสำนักอำนวยความปลอดภัย ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลปริมาณจราจร (Traffic Volume) ข้อมูลชนิดของยานพาหนะ (Vehicle Type) เป็นต้น
6) โปรแกรมบริหารแผนงานบำรุงทาง (TPMS) โดยสำนักบริหารและบำรุงทาง ยกตัวอย่างเช่น แบบจำลองการเสื่อมสภาพ (Deterioration Model) แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Road Work Effect Model) เป็นต้น

1.4.3 งานคัดเลือกสายทาง

ที่ปรึกษาจะนำข้อมูลที่ได้จากข้อ 1.4.2 มาวิเคราะห์ในชั้นต้น และจัดเตรียมข้อมูลเพื่อคัดเลือกสายทางสำหรับการสำรวจข้อมูลภาคสนาม เพื่อเพิ่มเติมและสนับสนุนระบบ iPAVEs ของสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง ที่มีอยู่ให้สมบูรณ์และมีข้อมูลเพียงพอต่อการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน โดยสายทางที่ทำการคัดเลือกต้องมีจำนวนไม่น้อยกว่า 20 แห่ง และระยะทางรวมไม่น้อยกว่า 900 กิโลเมตร/ช่องจราจร ทั้งนี้ สายทางที่ทำการคัดเลือกต้องได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการบริหารโครงการก่อนการดำเนินการต่อไป

1.4.4 งานสำรวจข้อมูลภาคสนาม

ที่ปรึกษาจะสำรวจและประเมินสภาพสายทางที่ได้รับการคัดเลือกในข้อ 1.4.3 โดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจสภาพถนนตามมาตรฐานสากล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ความเสียหายของผิวทาง

ที่ปรึกษาจะดำเนินการสำรวจและเปรียบเทียบผลสำรวจ ตรวจสอบ และประเมินสภาพทางหลวง โดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจด้วยชุดเลเซอร์ LASER CRACK MEASUREMENT SYSTEM (LCMS) ซึ่งติดตั้งบนยานพาหนะและการสำรวจด้วยถ่ายภาพ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1.1) การสำรวจด้วยชุดเลเซอร์ LCMS

ที่ปรึกษาจะสำรวจสภาพถนนด้วยชุดเครื่องมือเลเซอร์ LCMS ที่มีระบบการวัดรอยแตกด้วยเลเซอร์ โดยใช้การฉายแสงของเลเซอร์ กล้องความเร็วสูง และเลนส์ขั้นสูง เพื่อใช้ในการสร้างข้อมูลภาพทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติของพื้นผิวถนน พร้อมประมวลผลโดยระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection)

1.2) การสำรวจด้วยการถ่ายภาพ

ที่ปรึกษาจะสำรวจด้วยชุดเครื่องมือ Pavement Camera ที่มีอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง สามารถบันทึกภาพได้อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงสายทาง โดยสามารถคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และกำหนดระยะห่างระหว่างภาพของการสำรวจได้ พร้อมประมวลผลความเสียหายผิวทางจากภาพถ่าย

2) ความเรียบของถนน

ที่ปรึกษาจะสำรวจค่าความเรียบของถนนด้วยชุดอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดความเสียหายชนิดประเภทความเรียบของผิวทาง โดยสามารถตรวจวัดและคำนวณเป็นค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) ตามมาตรฐาน ASTM E950 (Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference) และต้องสามารถตรวจวัดสภาพผิวทางได้โดยมีความละเอียดดีกว่าหรือเท่ากับ 25 มิลลิเมตร โดยสามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับเครื่องมือระบุตำแหน่งโดยใช้สัญญาณดาวเทียม

3) ความหนาของโครงสร้างถนน

ที่ปรึกษาจะสำรวจความหนาของโครงสร้างถนน ด้วยการเจาะเก็บตัวอย่างผิวทางและหรือวัสดุชั้นทาง เพื่อประเมินความหนาของโครงสร้างถนนในสายทางทดสอบจำนวนอย่างน้อย 3 ตัวอย่างต่อสายทาง รวมเป็นจำนวนไม่น้อยกว่า 60 ตัวอย่าง

4) ข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ที่ปรึกษาจะสำรวจข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สมรรถนะ (Performance Analysis) และประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis) ของโครงสร้างถนน เช่น การสำรวจความเสียหายของผิวทางด้วยสายตา (Visual Inspection) ชนิดผิวทาง ชนิดวัสดุมวลรวม ปริมาณจราจร อายุสายทาง ค่า Mean Profile Depth (MPD) และประวัติงานซ่อมบำรุงผิวทาง เป็นต้น

1.4.5 งานตรวจสอบความถูกต้อง และสมบูรณ์ของข้อมูล

ที่ปรึกษาจะตรวจสอบความถูกต้อง และสมบูรณ์ของข้อมูลจากฐานข้อมูลในข้อ 1.4.2 และข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ในข้อ 1.4.4 เพื่อเตรียมข้อมูลลงในระบบ iPAVEs ของสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน ด้วยการตรวจสอบอย่างน้อย ดังต่อไปนี้

1) ตรวจสอบความเหมาะสมของจำนวนข้อมูล
2) ตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล
3) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล
4) ตรวจสอบความผิดปกติของข้อมูล (Outlier)

1.4.6 งานวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน

ที่ปรึกษาจะวิเคราะห์สมรรถนะ (Performance Analysis) และประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis) ของโครงสร้างถนนในระบบ iPAVEs ของสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง โดยมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ ดังนี้

1) การวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะของโครงสร้างถนน (Pavement Performance Analysis) ทางสถิติ และวิศวกรรม
   1.1) วิเคราะห์ดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลักของโครงสร้างถนนทั้ง 4 ด้าน โดยการวิเคราะห์จากข้อมูลดัชนีต่าง ๆ ที่ได้รวบรวมมาในข้อ 1.4.2 และ 1.4.4 ดังนี้
      - ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน
      - ความเรียบของถนน
      - ความเสียหายของผิวทาง
      - ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง
   1.2) วิเคราะห์ลำดับความสำคัญของแต่ละด้าน โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติขั้นสูงที่มีความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานอย่างสมเหตุสมผล รวมถึงการวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละด้าน โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) หรือแนวทางอื่น ๆ ที่มีความเหมาะสม

1.3) จัดทำแบบสอบถามเพื่อวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของแต่ละด้าน โดยครอบคลุมข้อมูลด้านการบริหารจัดการงานทางจากผู้เชี่ยวชาญของกรมทางหลวง ได้แก่ สำนักบริหารบำรุงทาง สำนักแผนงาน สำนักอำนวยความปลอดภัย สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ และสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง จำนวนไม่น้อยกว่า 50 ชุด

1.4) วิเคราะห์ตามแนวทางการดำเนินงานของสำนักแผนงาน กรมทางหลวง เช่น ลำดับชั้นของถนน (Road Hierarchy) มาตรฐานชั้นทาง (Highway Standard) เป็นต้น

1.5) ประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะ (Performance Analysis) โดยอาศัยข้อมูลที่มีของกรมทางหลวง และข้อมูลที่ได้จากโครงการ

ทั้งนี้ วิธีการวิเคราะห์ทั้งหมดต้องได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการบริหารโครงการก่อนการดำเนินการ

2) การวิเคราะห์ประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis)

ที่ปรึกษาจะต้องวิเคราะห์ประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน ด้านความแข็งแรงของโครงสร้างถนน ด้านความเรียบของถนน ด้านความเสียหายของผิวทาง และด้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง โดยคำนึงถึงปัจจัยทางด้านวิศวกรรมเพื่อพัฒนาเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจ (Decision Making) ในระดับปฏิบัติการ (Operation Level) เพื่อจัดทำแบบจำลองการพยากรณ์ทางวิศวกรรม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1) การวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ (Deterioration)

การวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลักของโครงสร้างถนนทั้ง 4 ด้าน โดยอาศัยหลักการทางวิศวกรรม หรือ หลักสถิติขั้นสูง เช่น การวิเคราะห์ข้อมูล Machine Learning หรือ Artificial Intelligence การวิเคราะห์โดยอ้างอิงงานวิจัยที่ผ่านมา เป็นต้น

2.2) การวิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Road Work Effect)

การวิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุงของดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลักของโครงสร้างถนนทั้ง 4 ด้าน โดยอาศัยหลักการทางวิศวกรรม หรือ หลักสถิติขั้นสูง โดยวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านมากับข้อมูลจากการสำรวจในโครงการ

2.3) การกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุง (Maintenance Criteria)

การกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุง (Maintenance Criteria) โดยอาศัยหลักการทางวิศวกรรม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาตัวช่วยในการตัดสินใจ (Decision Making) ในระดับปฏิบัติการ (Operation Level) โดยนำผลการวิเคราะห์ในข้อ 1.4.6 มาประกอบการพิจารณา

1.4.7 งานรายงานผลเพื่อติดตาม และประเมินผลการวิเคราะห์

ที่ปรึกษาจะรายงานผลเพื่อติดตามและประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1) แสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน
2) รายงานผล เพื่อติดตามและประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน
3) เพื่อช่วยในการตัดสินใจ (Decision Making) ด้านการวิเคราะห์สมรรถนะ และประเมินผลวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน ในระดับปฏิบัติการ (Operation Level)

1.4.8 งานจัดทำคู่มือวิเคราะห์สมรรถนะ และประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis) โครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง (Manual)

ที่ปรึกษาจะจัดทำคู่มือ เพื่อเป็นแนวทางการวิเคราะห์สมรรถนะ (Performance Analysis) และประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis) ของโครงสร้างถนน เพื่อถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการวิเคราะห์สมรรถนะ และประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน ให้กับเจ้าหน้าที่และบุคลากรกรมทางหลวง

1.4.9 งานจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์

ที่ปรึกษาจะจัดทำวีดีทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ ระยะเวลาไม่น้อยกว่า 3 นาที

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1.5.1 วิธีการที่เหมาะสมตามกิจกรรมด้านต่าง ๆ ของกรมทางหลวง สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง

1.5.2 กรมทางหลวงมีเครื่องมือในการช่วยตัดสินใจและแสดงผลการวางแผนซ่อมบำรุงทาง การจัดสรรงบประมาณประจำปี ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้อง เหมาะสม และแม่นยำมากยิ่งขึ้น

1.5.3 สามารถกำหนดรูปแบบทางเลือกวิธีการซ่อมบำรุง และบูรณะโครงสร้างถนนได้มีความเหมาะสม และประหยัดงบประมาณมาณยิ่งขึ้น

1.5.4 สามารถนำฐานข้อมูลการสำรวจ และประเมินสภาพทางหลวงทั่วประเทศที่มีอยู่แต่เดิมมาใช้ให้เกิดความคุ้มค่า และเกิดประโยชน์สูงสุดแก่ประชาชนผู้ใช้ทาง

บทที่ 2
การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทบทวนระบบฐานข้อมูล และการคัดเลือกสายทาง

2.1 งานศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

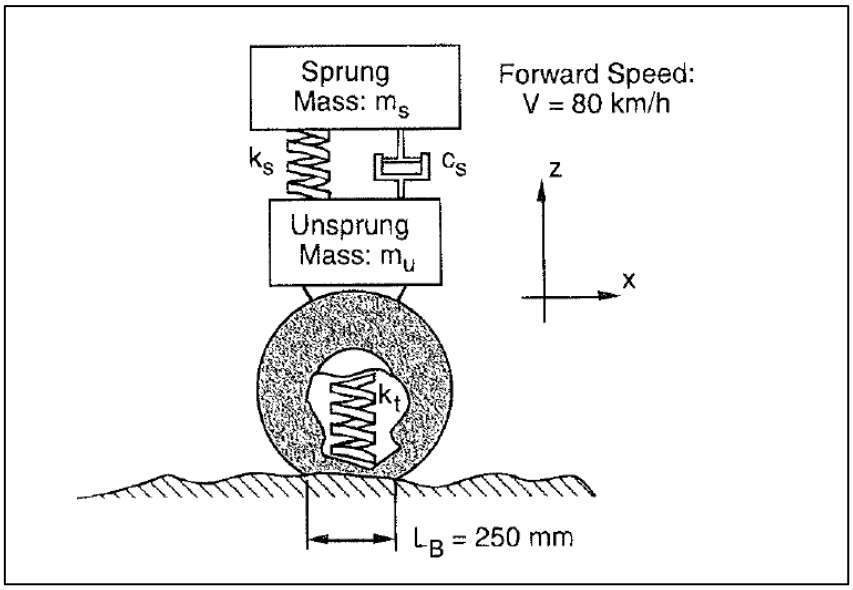
ที่ปรึกษาจะเสนอกรอบแนวคิดการศึกษา วิธีการ และแผนงานในงานศึกษาที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมและเทคโนโลยีการสำรวจสภาพถนน ประกอบด้วย

2.1.1 ศึกษาดัชนีชี้วัดด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนน

การศึกษาดัชนีชี้วัดด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนน ที่ปรึกษาจะดำเนินการศึกษาข้อมูลในด้านต่าง ๆ อันได้แก่ ความเรียบของถนน ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน ความเสียหายของผิวทาง และข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน

1) ความเรียบของถนน

ค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) ถูกนิยามขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1986 โดยธนาคารโลก (World Bank) เพื่อใช้ในโครงการศึกษาวิจัยทางหลวงนานาชาติ (International Cooperative Highway Research Program; NCHRP) โดยทั่วไป ค่า IRI จะถูกคำนวณมาจากค่าระดับสะสมตามยาวของถนน (Longitudinal Road Profile) ซึ่งเก็บได้ด้วยอุปกรณ์ที่ติดอยู่กับเพลาล้อของรถสำรวจ (Quarter-Car Model) แสดงดังรูปที่ 2-1 และหารด้วยระยะทางที่สำรวจ เพื่อรวมผลของค่าดัชนีความขรุขระเข้ากับหน่วยความลาดชัน (Sayers, Michael. 1995)



ที่มา : Sayers, Michael. (1995)

รูปที่ 2-1 อุปกรณ์เก็บค่าระดับของถนน (Quarter-Car Model)

ในการจะคำนวณค่า IRI ได้นั้น ผู้ศึกษาจำเป็นต้องทราบนิยามของค่า IRI ก่อน โดยนิยามของค่า IRI ที่สมบูรณ์นั้น ประกอบไปด้วย 5 หัวข้อด้วยกัน ดังนี้

1.1) ค่า IRI ถูกคำนวณจากค่าระดับตามยาวเพียงค่าเดียว โดยความละเอียดในการคำนวณแต่ละช่วงไม่ควรมากกว่า 300 มิลลิเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระของถนน โดยถนนที่มีความขรุขระน้อย ๆ ควรจะใช้ความละเอียดในการคำนวณมาก ๆ ทั้งนี้ ความละเอียดในการคำนวณที่ 0.5 มิลลิเมตร สามารถใช้ได้กับทุกสภาพผิวทาง

1.2) เส้นทางสำรวจถูกสมมติว่ามีค่าความชันที่คงที่ในทุก ๆ จุดที่เครื่องทดสอบทำการอ่านค่าระดับ

1.3) กราฟของค่าระดับที่ได้จากเครื่องสำรวจ จะถูกนำมาปรับโดยใช้เทคนิคเส้นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average; MA) ในทุก ๆ ระยะ 250 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้กราฟที่มีความต่อเนื่อง

1.4) เนื่องจากในสภาพงานจริง เป็นการยากที่จะรักษาความเร็วของรถให้คงที่ ดังนั้น เพื่อปรับกราฟให้มีความถูกต้องโดยตัดปัจจัยด้านความเร็วที่ไม่คงที่ออกไป จึงจำเป็นต้องมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เข้ามาร่วมในการคำนวณ ซึ่งจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างระบบจำลองการเคลื่อนที่ของช่วงล่าง โดยในการคำนวณจะสมมติความเร็วของรถไว้ที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1.5) การเคลื่อนที่ของระบบจำลองช่วงล่างนั้นจะถูกคิดสะสมเป็นสมการเส้นตรง และถูกหารด้วยระยะทางที่ใช้ในการสำรวจเพื่อหาค่า IRI เพราะฉะนั้นค่า IRI จึงมีหน่วยเป็นเมตรต่อกิโลเมตร

เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะถูกแสดงดังสมการที่ 2-1 โดยจะอยู่ในรูปของค่าคงที่ซึ่งถูกหารด้วยค่าน้ำหนักเหนือสปริง (Sprung Mass) ดังนี้

$$c = c_s / m_s = 6.0$$

$$k_1 = k_t / m_s = 653$$

$$k_2 = k_s / m_s = 63.3$$

$$\mu = m_u / m_s = 0.15$$

โดยที่ c = ค่าคงที่การกระแทกของช่วงล่าง

k_s = ค่าคงที่ต่อการกระแทกของสปริง

k_t = ค่าคงที่ความเป็นสปริงของยางรถ

m_s = น้ำหนักเหนือสปริง (น้ำหนักของยานพาหนะที่ถ่ายลงต่อ 1 ล้อ)

m_u = น้ำหนักใต้สปริง (น้ำหนักล้อ น้ำหนักยาง และครึ่งหนึ่งของน้ำหนักเพลา)

โดยที่ระบบจำลองการเคลื่อนที่ของช่วงล่างนั้น สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์อันดับที่ 1 แสดงดังสมการที่ 2-2

ซึ่งประกอบไปด้วย 4 สมการย่อย และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ แสดงดังสมการที่ (2-3)

$$\dot{x} = Ax + Bh_{ps} \tag{2-2}$$

โดยที่ x, A และ B นิยามไว้ตามสมการ ดังนี้

$$x = \left[z_s, \quad \dot{z}_s, \quad z_u, \quad \dot{z}_u \right]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & -c & k_2 & c \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \frac{k_2}{\mu} & \frac{c}{\mu} & -\frac{k_1 + k_2}{\mu} & -\frac{c}{\mu} \end{bmatrix}$$

$$B = \left[0, \quad 0, \quad 0, \quad k_1 / \mu \right]^T \tag{2-3}$$

โดยที h_{ps} = ค่าระดับที่ผ่านการปรับแก้แล้ว

z_s = ความสูง (แกนตั้ง) ของน้ำหนักเหนือสปริง

z_u = ความสูง (แกนตั้ง) ของน้ำหนักใต้สปริง

x = สถานะของระบบ (ตัวแปรที่รวมตัวกันเพื่ออธิบายสถานะของระบบจำลอง)

ทั้งนี้ ตัวแปรใด ๆ ที่เป็นอนุพันธ์ของเวลาจะแสดงด้วยสัญลักษณ์จุดไว้ข้างบน ตัวอย่างเช่น $\dot{z}_s$ โดยที่เวลาจะบอกถึงตำแหน่งของวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ความสัมพันธ์แสดงดังสมการที่ (2-4) ทั้งนี้ เพื่อใช้ในการหาค่า IRI ความเร็วในระบบจำลองนี้จะกำหนดไว้อยู่ที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$t = x / V \tag{2-4}$$

โดยที่ x = ระยะทางใด ๆ

V = ความเร็วที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

การคำนวณค่า IRI คือการคำนวณค่าสะสมของน้ำหนักเหนือสปริง และใต้สปริงที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในระบบจำลองตลอดระยะทางการสำรวจ ซึ่งคือการหาปฏิยานุพันธ์ของผลต่างระหว่าง $\dot{z}_s$ และ $\dot{z}_u$ ที่เป็นบวก และหารด้วยระยะทางที่รถเคลื่อนที่ไปได้ทั้งหมด แสดงดังสมการที่ (2-5)

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^{L/V} \left| \dot{z}_s - \dot{z}_u \right| dt \tag{2-5}$$

อนึ่ง จากการศึกษา พบว่า ในประเทศสหรัฐอเมริกานั้น หน่วยงานด้านการขนส่งในแต่ละรัฐได้มีการศึกษา และรวบรวมข้อมูลค่า IRI มาอย่างต่อเนื่อง โดยหน่วยงานกลางของประเทศ (Federal Highway Administration; FHWA) จะทำหน้าที่รวบรวมค่าดังกล่าวจากทุกรัฐ และกำหนดเป็นค่า IRI แนะนำสำหรับใช้เป็นเกณฑ์ให้แก่สายทางต่าง ๆ ทั่วประเทศ (Rens, 2009)

Dahlstedt, (2003) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการยอมรับของผู้ใช้ทางบนช่วงสายทางที่มีค่า IRI ในช่วงที่มีค่าน้อยถึงปานกลางนั่น คือ ช่วงของค่า IRI ระหว่าง 0.5 - 3.0 เมตรต่อกิโลเมตร บนสายทางตัวอย่างจำนวน 45 ช่วง บนถนนซึ่งยาว 60 กิโลเมตร โดยกำหนดผู้ทดสอบจำนวน 22 คน นั่งบนรถทดสอบ โดยแบ่งออกเป็นรถเก๋งและรถบรรทุกผลัดกันนั่งคนละรอบ ผลการศึกษาพบว่า ค่า IRI ช่วงที่มีค่าน้อยถึงปานกลางนั่น คือ ช่วงของค่า IRI ระหว่าง 0.5 - 3.0 เมตรต่อกิโลเมตรนั้น มีความสัมพันธ์กับค่าคะแนนความรู้สึกของผู้นั่งโดยสารแบบเส้นตรง แต่เมื่อพิจารณาช่วงที่มีค่าโดดใน 60 กิโลเมตรนั้น พบว่า มีผลทำให้ค่าสหสัมพันธ์ลดลง และเมื่อเผื่อการคำนวณการวัดค่าที่อาจคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือ พบว่า สามารถยอมรับได้มากสุดที่ IRI บวกลบ 0.2 เมตรต่อกิโลเมตร

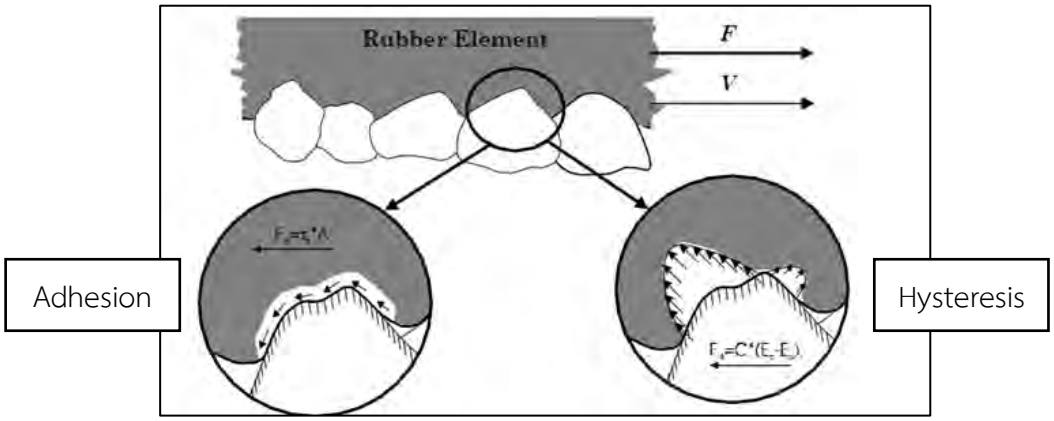
สำหรับประเทศไทยในอดีตที่ผ่านมา กรมทางหลวงได้นำแนวทางการสำรวจสภาพสายทางคล้ายกับการสำรวจหาค่าดัชนี PSI มาประยุกต์ใช้ในระบบบริหารงานบำรุงทาง โดยตรวจสอบสภาพสายทางจากลักษณะความเสียหาย ปริมาณความเสียหาย และปริมาณการจราจร เพื่อนำมาจัดทำระดับความเสียหาย (Defect Rating Value, DRV) ของแต่ละสายทาง แต่การสำรวจสภาพทางหรือระดับการให้บริการนี้ทำได้ช้าและไม่ทันในปีงบประมาณ จึงทำให้ในปี 2532 กรมทางหลวงได้นำเครื่องมือที่เรียกว่า Bump Integrator มาวัดค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI)

2) ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง

สภาพความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง หรือแรงต้านไม่ให้ล้อลื่นไถลไปบนผิวทางจะเกิดขึ้นเมื่อยางรถยนต์หมุน หรือไถลไปตามพื้นผิวของถนนด้วยแรงเสียดทาน โดยได้รับอิทธิพลมาจากสององค์ประกอบหลัก นั้นคือ แรงยึดติด (Adhesion) และแรงต้านทาน (Hysteresis) นอกจากแรงทั้งสองแล้ว ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาพความต้านทานการลื่นไถลอื่น ๆ ยังมีอยู่อีก เช่น ผิวยางของล้อ แต่ส่วนประกอบเหล่านี้ไม่มีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับแรงยึดติด (Adhesion) และแรงต้านทาน (Hysteresis) ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

แรงยึดติด (Adhesion) เป็นแรงฝืดที่เกิดจากการเชื่อม หรือการหน่วง ซึ่งมาจากวัสดุขนาดเล็กของผิวถนนกับยางล้อ โดยค่าของแรงยึดติด (Adhesion) นั้น จะแปรผันตรงกับแรงเฉือน และพื้นที่ผิวสัมผัส โดยแรงชนิดนี้ จะขึ้นกับลักษณะผิวทางอย่างละเอียด (Micro-Texture)

แรงต้านทาน (Hysteresis) เป็นองค์ประกอบหลักของแรงฝืด ซึ่งเกิดจากการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากการเปลี่ยนรูปร่างของล้อยาง เมื่อล้อยางถูกบีบอัดเข้ากับพื้นผิวทาง การกระจายความเครียดทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน ซึ่งพลังงานนี้จะถูกเก็บไว้ภายในยาง และพลังงานส่วนหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นแรงฝืด เพื่อช่วยหยุดการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของยานพาหนะ ในขณะที่พลังงานในส่วนอื่น ๆ จะสูญเสียไปในรูปแบบของความร้อน โดยแรงชนิดนี้จะขึ้นกับลักษณะผิวทางอย่างหยาบ (Macro-Texture)



รูปที่ 2-2 แรงฝืดประกอบด้วย แรง Adhesion และแรง Hysteresis

โดยความแตกต่างของแรงยึดติด (Adhesion) และแรงต้านทาน (Hysteresis) แสดงดังรูปที่ 2-2 และมีสมการความสัมพันธ์แสดงดังสมการที่ (2-6)

$$F = F_A + F_H \tag{2-6}$$

โดยที่ F = แรงเสียดทานของผิวทาง

F_A = แรงยึดติด (Adhesion)

F_H = แรงต้านทาน (Hysteresis)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าแรงเสียดทานขึ้นอยู่กับลักษณะผิวทาง 2 ประเภท คือ ลักษณะผิวทางอย่างละเอียด (Micro-Texture) และลักษณะผิวทางอย่างหยาบ (Macro-Texture) ซึ่งเป็นผลให้เครื่องมือตรวจวัดค่าความเสียดทาน ในปัจจุบันไม่สามารถใช้เกณฑ์ค่าความเสียดทานที่ต้องพึงระวังอย่างเดียวกันได้ เนื่องจากแต่ละเครื่องมือได้รับผลจากผิวทางทั้ง 2 ไม่เท่ากัน จึงเป็นที่มาของค่าดัชนีความเสียดทานสากล

(International Friction Index; IFI) ซึ่งเป็นดัชนีที่นำปัจจัยทั้ง 2 มาผนวกเข้าด้วยกัน รวมถึงสามารถกำหนดการตรวจวัด ณ ความเร็วต่าง ๆ ได้อีกด้วย โดนการคำนวณค่าดัชนีความเสียดทานสากลตามมาตราฐาน ASTM E1960 มีขั้นตอนดังนี้

2.1) ความคำนวณค่าตัวแปรความเร็วคงที่ (S_p) จากค่าความลึกโพรไฟล์เฉลี่ย (MPD) แสดงดังสมการที่ (2-7)

$$S_p = a + b \cdot Tx \qquad (2.7)$$

โดยที่ S_p = ตัวแปรความเร็วคงที่ (กม./ชม.)

a, b = ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ของเครื่องมือทดสอบค่าลักษณะพื้นผิว

Tx = พารามิเตอร์ลักษณะพื้นผิว ที่ได้จากเครื่องมือทดสอบพื้นผิวแบบหยาบ (Macro-Texture) (มิลลิเมตร)

Tx = MPD เมื่อทดสอบด้วยเครื่องมือ High Speed Laser Measurement หรือค่า MTD เมื่อทดสอบด้วยเครื่องมือ Sand Patch

2.2) คำนวณค่าความเสียดทานปรับแก้ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง (FR60) จากค่าความเสียดทาน (FRS) ความเร็วในการลื่นไถล (S) และค่าตัวแปรความเร็วคงที่ (S_p) แสดงดังสมการที่ (2-8)

$$FR60 = FRS \cdot EXP[(S-60)/S_p] \qquad (2.8)$$

โดยที่ $FR60$ = ค่าความเสียดทานปรับแก้ที่ความเร็ว 60 กม./ชม.

FRS = ค่าความเสียดทานที่ได้จากเครื่องมือทดสอบ

S = ค่าความเร็วลื่นไถลที่เก็บข้อมูลค่าความเสียดทาน (กม./ชม.)

2.3) คำนวณค่าความเสียดทานปรับแก้ตามเครื่องมือ (IFI) จากค่าความเสียดทานปรับแก้ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง (FR60) แสดงดังสมการที่ (2-9)

$$IFI = A + B \cdot FR60 + C \qquad (2.9)$$

โดยที่ IFI = ค่าความเสียดทานปรับแก้ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตร/ชั่วโมงที่ปรับแก้ตามชนิดของเครื่องมือ

A, B, C = ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ของเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทาน

ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ a, b, A, B และ C จากสมการที่ 2-7 และ สมการที่ 2-9 มีค่าแสดงดังตารางที่ 2-1 และ ตารางที่ 2-2 ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ 2-1 ค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ของเครื่องมือทดสอบลักษณะพื้นผิวของผิวทาง

Tx	a	c
MPD (High Speed Laser Measurement)	14.2	89.7
MTD (Sand Patch)	-11.6	113.6

ที่มา : สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง (โครงการยกระดับมาตรฐานความฝืดของผิวแอสฟัลต์ เพื่อมุ่งสู่ทศวรรษแห่งความปลอดภัยทางถนน)

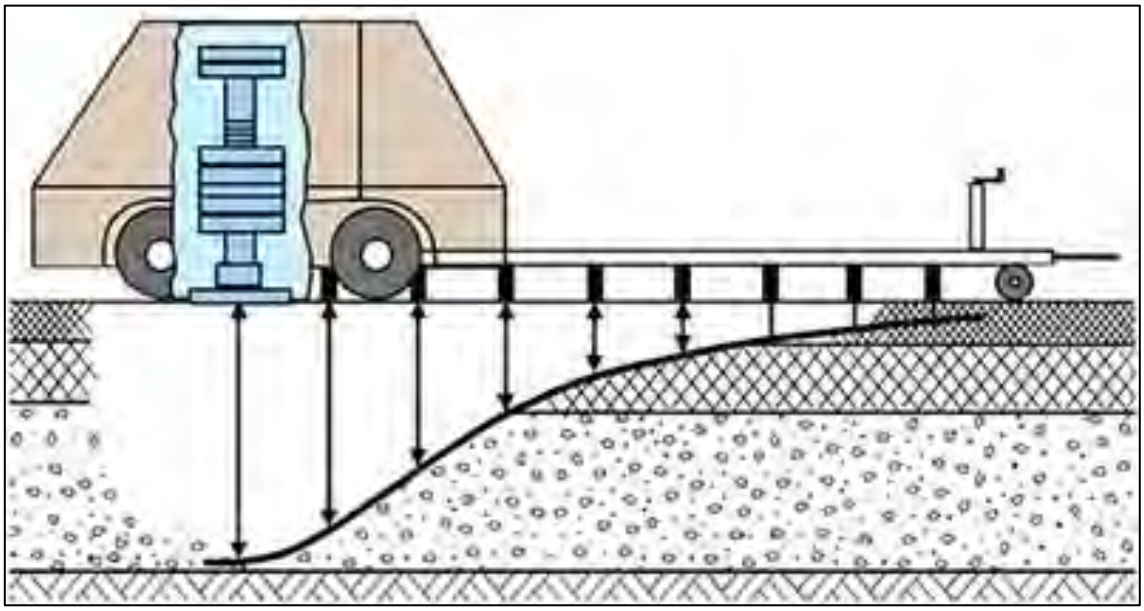
ตารางที่ 2-2 ค่าสัมประสิทธิ์ A, B, และ C ของเครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทาน

เครื่องมือทดสอบค่าความเสียดทาน	A	B	C
British Pendulum Tester (BTP)	0.056	0.008	0
Dynamic Friction Tester (DFT)	0.081	0.732	0
Airport Surface Friction Tester T-10 (ASFT T-10)	0.082	0.910	0

ที่มา : สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง (โครงการยกระดับมาตรฐานความฝืดของผิวแอสฟัลต์ เพื่อมุ่งสู่ทศวรรษแห่งความปลอดภัยทางถนน)

3) ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน

การสำรวจความแข็งแรงของโครงสร้างทางด้วยเครื่องมือสำรวจสภาพโครงสร้างชั้นทางด้วยตุ้มน้ำหนักกระแทก (Falling Weight Deflectometer; FWD) มีหลักการทำงานโดยการปล่อยตุ้มน้ำหนักตกกระแทกลงบนผิวทาง แล้วทำการวัดค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นและคำนวณย้อนกลับดังแสดงในรูปที่ 2-3 โดยค่าการแอ่นตัวนั้นจะสามารถนำมาหาค่าโมดูลัสของวัสดุชั้นทางแต่ละชั้น ซึ่งค่าโมดูลัสเหล่านี้จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับใช้ในการคำนวณอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของถนน และสามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบการเสริมผิวทางต่อไปได้ โดยจะเก็บค่าโดยใช้รถสำรวจสภาพโครงสร้างชั้นทางด้วยตุ้มน้ำหนักกระแทกเมื่อมีแรงกระทำต่อถนน และสามารถทำการทดสอบการวัดค่าและประมวลผลค่าการยุบตัว ค่าความแข็งแรง และค่าความสัมพันธ์เปลี่ยนแปลงกับความแข็งแรง โดยการทิ้งน้ำหนักกระแทกลงบนผิวทาง ซึ่งสามารถทดสอบได้ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D4694-96



รูปที่ 2-3 การทำงานของเครื่องมือสำรวจสภาพโครงสร้างชั้นทางด้วยตุ้มน้ำหนักกระแทก

ที่มา : https://www.bast.de/EN/Highway_Construction/Technology/FWD.html

สำหรับมาตรฐาน ASTM D4694-96 นั้น ได้ให้ข้อกำหนดในเรื่องของอุปกรณ์ทดสอบและกระบวนการทดสอบไว้ ดังนี้

3.1) อุปกรณ์ทดสอบ

3.1.1) อุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ภายนอกตัวรถ จะต้องมีขีดความสามารถในการทำงานได้ตั้งแต่อุณหภูมิ -10 ถึง 50 องศาเซลเซียส และสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงได้ เช่น ในสภาพที่มีฝนตก และมีละอองน้ำสูง นอกจากนี้ ยังต้องทนต่อสภาพอื่น ๆ ได้ อย่างเช่น ฝุ่นละออง ไฟฟ้าสถิต หรือการสั่นสะเทือนที่อาจเกิดขึ้นได้เป็นปกติ

3.1.2) อุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ภายในตัวรถ จะต้องมีขีดความสามารถในการทำงานได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 5 ถึง 40 องศาเซลเซียส

3.1.3) อุปกรณ์สร้างแรงกระแทก (Falling Weight) พร้อมระบบนำวิถี (Guide System) จะต้องสามารถกำหนดความสูงในการสร้างแรงกระแทกได้อย่างน้อย 1 ระดับ หรือมากกว่า ทั้งนี้ แรงกระแทกที่กระทบกับผิวทางจะต้องผ่านการปรับเทียบ โดยใช้วิธีการน้ำหนักกระแทกไม่น้อยกว่า 5 ครั้ง และในแต่ละครั้งอนุญาตให้ผลของแรงลัพธ์สามารถคลาดเคลื่อนกันได้ไม่เกิน 3% ค่าที่อ่านได้จากเครื่องจะถูกแสดงให้อยู่ในรูปของกราฟแฮเวอร์ซีน (Haversine) หรือกราฟไซน์แบบครึ่งคลื่น (Half-Sine Wave) ทั้งนี้แอมพลิจูดของคลื่น หรือค่าของแรงที่อ่านได้สูงสุดจากกราฟ ควรมีค่าประมาณ 50 กิโลนิวตัน

3.1.4) ระบบนำวิถี (Guide System) จะต้องถูกออกแบบให้สามารถทำงานภายใต้แรงเสียดทาน หรือความต้านทานเล็กน้อยได้ และยังต้องออกแบบมาเพื่อน้ำหนักที่ตกกระทบในแนวตั้งฉากกับผิวทางอีกด้วย

3.1.5) แผ่นกดทดสอบ (Loading Plate) สามารถทนต่อแรงกระจายที่กระทำต่อผิวทางได้ โดยชนิดของแผ่นกดทดสอบมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 300 และ 450 มิลลิเมตร (วัดภายใต้เงื่อนไขในสนามทดสอบหรือคล้ายคลึง) โดยแผ่นกดทดสอบต้องถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถวัดค่าการแอ่นตัวของผิวทาง ณ จุดศูนย์กลางของแผ่นกดทดสอบได้

3.1.6) เซนเซอร์วัดค่าการแอ่นตัว (Deflection Sensor) สามารถวัดค่าการแอ่นตัวที่ระยะกระแทกสูงสุดได้ โดยอย่างน้อยต้องรองรับการเคลื่อนที่เชิงมุมที่อาจเกิดขึ้นได้เล็กน้อยเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของแผ่นกระแทก ทั้งนี้ ไม่กำหนดจำนวน หรือระห่างของเซนเซอร์ แต่ให้ขึ้นอยู่จุดประสงค์ของการทดสอบ และสภาพของชั้นผิวทาง ทั้งนี้ระยะห่างของเซนเซอร์ที่ 300 มิลลิเมตร เป็นระยะห่างที่ถูกใช้บ่อย และเซนเซอร์อาจมีหลายชนิด เช่น เซนเซอร์แปลงค่าระยะการกระจัด (Displacement Transducers) เซนเซอร์จับสัญญาณการสั่นสะเทือน (Velocity Transducers) และเครื่องวัดความเร่งในการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Accelerometer)

3.1.7) ระบบการประมวลผล และจัดเก็บข้อมูล (Data Processing and Storage System) ผลการทดสอบแรง และการแอ่นตัว ทั้งหมดจะต้องถูกบันทึกลงในอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลแบบแม่เหล็ก หรือเครื่องเคาะสัญญาณกระดาษ รวมไปถึงข้อมูลอย่างเช่นอุณหภูมิ อุณหภูมิของพื้นผิวถนน ระยะทาง และข้อมูลแต่ละจุดจะต้องระบุให้ชัดเจนว่าเป็นข้อมูลจากจุดใด

3.1.8) โหลดเซลล์ (Load Cell) เพื่อวัดแรงที่กระทำลงไปในแต่ละครั้ง ตัวอุปกรณ์จะต้องถูกติดตั้งไว้ในจุดที่เหมาะสม และไม่ขัดขวางประสิทธิภาพการทดสอบค่าการแอ่นตัว ณ จุดศูนย์กลางของแผ่นกดทดสอบ ทั้งนี้ ตัวโหลดเซลล์จะต้องทนน้ำ ทนแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงกระแทกระหว่างการทดสอบหรือการเคลื่อนที่ของรถสำรวจตลอดระยะทางการสำรวจ

3.2) ขั้นตอนการทดสอบ

3.2.1) เคลื่อนย้ายอุปกรณ์ไปยังจุดสำรวจ และติดตั้งแผ่นกดทดสอบให้อยู่เหนือจุดทดสอบ ทั้งนี้ ควรทำความสะอาดจุดทดสอบให้ปราศจากเศษหินเท่าที่จะเป็นไปได้

3.2.2) ทดลองวางแผ่นกดทดสอบพร้อมทั้งเซนเซอร์ เพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์ทั้งหมดได้ระดับ

3.2.3) ยกอุปกรณ์สร้างแรงกระแทกขึ้นให้อยู่ในระดับที่จะทำการทดสอบ บันทึกค่าการแอ่นตัวสูงสุด และแรงกระแทกสูงสุด

3.2.4) ทำการทดสอบอย่างน้อย 2 ครั้ง และเปรียบเทียบผลการทดสอบของแต่ละเซนเซอร์ ถ้าคลาดเคลื่อนกันเกิด 3% ให้บันทึกผลความคลาดเคลื่อนนั้นลงในรายงาน นอกจากนี้อาจทดสอบแรงกระแทกในหลายระดับร่วมด้วย

4) ความเสียหายของผิวทาง (Pavement Distress)

การประมวลผลข้อมูลความเสียหายจากรูปถ่ายโดยใช้หลักเกณฑ์ในการประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากกล้องบันทึกภาพจะแบ่งการประมวลผลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนที่เป็นผิวทางลาดยาง และการประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนที่เป็นผิวทางคอนกรีต โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.1 การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนที่เป็นผิวทางลาดยาง

ผู้รับจ้างจะคัดแยกประเภทและปริมาณความเสียหายต่าง ๆ ที่ปรากฏบนผิวทาง และบันทึกข้อมูลทั้งหมดโดยอ้างอิงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์ในทุกระยะ 25 เมตร ซึ่งตัวอย่างความเสียหายของถนนที่เป็นผิวทางลาดยางมีด้วยกัน 9 ประเภท ดังนี้

4.1.1) หลุมบ่อ (Pothole)

หลุมบ่อ หรือ Pothole คือ ความเสียหายที่เกิด จากการพังทลายของผิวถนนลงไปเป็นหลุมบ่อ มีลักษณะเป็นแอ่งหรือถ้วย มีหลายขนาด โดยทั่วไปมีขอบคมและเป็นแนวตรงบริเวณปากหลุม หลุมบ่อเป็นความเสียหายที่เกิดจากการบวมตัว ผิวหลุดร่อน รอยปะซ่อมที่ไม่ได้คุณภาพ ชิ้นส่วนที่ไม่ยึดเกาะเหล่านี้ จะหลุดออกไปตามแรงกระทำของล้อรถ วัสดุชั้นทางที่อยู่ใต้ลงไปก็จะหลุดออกตามไปด้วย เกิดเป็นหลุมบ่อที่มีความลึกมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 หลุมบ่อ (Pothole)

4.1.2) ยุบตัวเป็นแอ่ง (Depression)

ยุบตัวเป็นแอ่ง หรือ Depression คือ ความเสียหายที่เกิดการยุบตัวเป็นแอ่งโดยมีสาเหตุจาการได้รับแรงกระทำซ้ำ ๆ จนเกินขีดความสามารถของผิวทาง หรือเกิดจากการอัดตัวคายน้ำหรือการทรุดตัวของผิวทางที่อยู่ใต้ลงไป หรืออาจเกิดจากการบดอัดที่ไม่เพียงพอ แสดงดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 ยุบตัวเป็นแอ่ง (Depression)

4.1.3) ร่องล้อ (Rutting)

ร่องล้อ หรือ Rutting คือ การทรุดตัวของ โครงสร้างใต้ผิวทาง อันเนื่องมาจากน้ำหนักกดทับที่มากเกินไป หรือชั้นผิวทางที่อยู่ด้านใต้มีความแข็งแรงไม่เพียงพอ หรือพื้นที่บริเวณนั้นได้รับการบดอัดไม่เพียงพอ แสดงดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 ร่องล้อ (Rutting)

4.1.4) รอยปะซ่อม (Patching)

รอยปะซ่อมที่เสียหาย หรือ Patching คือ รอยปะซ่อมเป็นรอยที่เกิดจากการปะซ่อมหรือการขุดซ่อม ผิวจราจรเดิมที่เกิดความเสียหายโดยการเสริมด้วยวัสดุใหม่ หรือรื้อวัสดุเดิมออกแล้วแทนที่ด้วยวัสดุใหม่ อย่างไรก็ตาม รอยปะซ่อมหรือบริเวณใกล้เคียงนี้ มีคุณภาพการใช้งานไม่ดีเท่าผิวจราจรเดิม จึงถือว่าเป็นความเสียหายอย่างหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 รอยปะซ่อม (Patching)

4.1.5) ผิวทางหลุดร่อน (Raveling)

ผิวทางหลุดร่อน หรือ Raveling คือความเสียหายที่มีลักษณะเป็นผิวทางที่ขรุขระคล้ายหน้าข้าวตัง อาจเกิดจากยางแอสฟัลต์ ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมประสาน เริ่มแข็งตัวตามอายุการใช้งานจนสูญเสียแรงยึดเกาะทำให้มวลรวมหลุดร่อนออกไป หรือเกิดจากขั้นตอนการก่อสร้าง เนื่องจากการบดอัดไม่เพียงพอ การปูผิวทางที่บางในระหว่างอากาศเย็น การใช้วัสดุมวลรวมสกปรกหรือไม่ยึดเกาะ การใช้แอสฟัลต์น้อยเกินไป หรือการให้ความร้อนในการผสมสูงเกินไป การหลุดร่อนนี้อาจเกิดจากการใช้ยานพาหนะบางชนิดวิ่งผ่าน เช่น ล้อตีนตะขาบ แสดงดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 ผิวทางหลุดร่อน (Raveling)

4.1.6) รอยแตกร้าว (Cracks)

รอยแตกร้าว หรือ Cracks คือ ความเสียหายที่เกิดการแตกร้าวบนผิวทาง โดยสาเหตุที่พบส่วนมากเกิดจากมีความชื้นในชั้นโครงสร้างทางสูง ทำให้ความสามารถรับน้ำหนักลดลงเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกผ่านจึงเกิดการแตกร้าว แสดงดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 รอยแตกร้าว (Cracks)

4.1.7) รอยแตกร้าวขนาดใหญ่ (High Cracks)

รอยแตกร้าวขนาดใหญ่ หรือ High Cracks คือ ความเสียหายที่เกิดการแตกร้าวบนผิวทางโดยที่รอยแตกร้าวมีขนาดใหญ่กว่าปกติ และจะวัดขนาดเป็นหน่วย ตารางเมตร แสดงดังรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 รอยแตกร้าวขนาดใหญ่ (High Cracks)

4.1.8) รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)

รอยแตกตามยาว หรือ Longitudinal Cracks คือ การเกิดรอยแตกบนผิวทางตามแนวยาวของถนนซึ่งอาจเกิดได้จากการทรุดตัวของไหล่ทาง อันเนื่องจากการบดอัดไม่ได้ความหนาแน่นตามมาตรฐาน ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างได้ง่ายเมื่อรับน้ำหนักจากรถบรรทุก ทำให้เกิดรอยแตกเป็นแนวยาว หรือเกิดจากขั้นตอนการออกแบบการก่อสร้าง โดยการกำหนดความสูงและความลาดชันของคันทางที่ไม่สอดคล้องกับคุณสมบัติของวัสดุคันทางและชั้นดินฐานราก หรือคุณสมบัติของวัสดุในการก่อสร้างทางหรือดินถมคันทางมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นสูง แสดงดังรูปที่ 2-11



ที่มา : สำนักงานวิเคราะห์และตรวจสอบและสำนักงานบริหารบำรุงทาง (๒๕๕๐)

รูปที่ 2-11 รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)

4.1.9) รอยแตกร้าวตามขวาง (Transverse Cracks)

รอยแตกตามขวาง หรือ Transverse Cracks คือ รอยแตกตรงที่เกิดขึ้นในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการจราจร มักเกิดขึ้นจากการยืดและหดตัวของวัสดุประสานในชั้นผิวทางที่ไม่เท่ากัน อันเนื่องจากอุณหภูมิ หรือการเกิดรอยแตกขึ้นในชั้นต่ำกว่าผิวทางและเกิดการแยกตัวขึ้นจนถึงชั้นผิวทาง แสดงดังรูปที่ 2-12



ที่มา : สำนักงานวิเคราะห์และตรวจสอบและสำนักงานบริหารบำรุงทาง (๒๕๕๐)

รูปที่ 2-12 รอยแตกร้าวตามขวาง (Transverse Cracks)

ตารางที่ 2-3 ตารางสรุปประเภทความเสียหายของผิวทางลาดยางและหน่วยการวัด

ลำดับที่	ประเภทความเสียหาย	หน่วยการวัด
1	หลุมบ่อ (Pothole)	ตารางเมตร
2	ยุบตัวเป็นแอ่ง (Depression)	ตารางเมตร
3	ร่องล้อ (Rutting)	ตารางเมตร
4	รอยปะซ่อมที่เสียหาย (Patching)	ตารางเมตร
5	ผิวทางหลุดร่อน (Raveling)	ตารางเมตร
6	รอยแตกร้าว (Cracks)	เมตร
7	รอยแตกร้าวขนาดใหญ่ (High Cracks*)	ตารางเมตร
8	รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)	เมตร
9	รอยแตกร้าวตามขวาง (Transverse Cracks)	เมตร

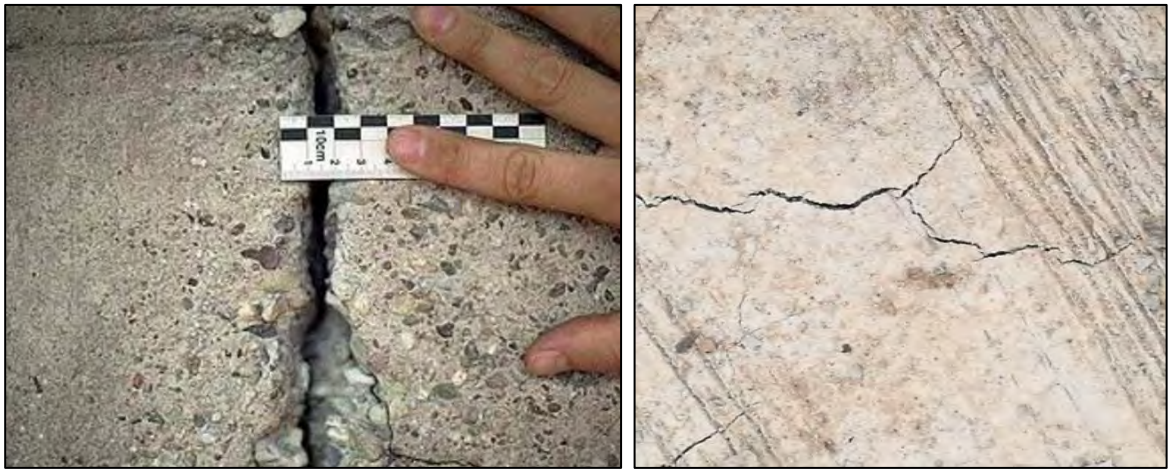
หมายเหตุ : Cracks > 5 m.m.

4.2 การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนที่เป็นผิวทางคอนกรีต

ผู้รับจ้างจะคัดแยกประเภทและปริมาณความเสียหายต่าง ๆ ที่ปรากฏบนผิวทาง และบันทึกข้อมูลทั้งหมดโดยอ้างอิงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์ในทุกระยะ 25 เมตร ซึ่งตัวอย่างความเสียหายของถนนที่เป็นผิวทางคอนกรีต มีด้วยกัน 8 ประเภท ดังนี้

4.2.1) รอยแตกกว้างมากกว่า 5 มิลลิเมตร (High Cracks)

รอยแตกกว้างมากกว่า 5 มิลลิเมตร หรือ High Cracks การเกิดรอยแตกบนผิวทางคอนกรีตที่มีความกว้างของรอยแตกมากกว่า 5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 2-13



รูปที่ 2-13 รอยแตกกว้างมากกว่า 5 มิลลิเมตร (High Cracks)

4.2.2) รอยต่อเสียหาย (Joint Cracks)

รอยต่อเสียหาย หรือ Joint Cracks คือ การเกิดความเสียหายบริเวณรอยต่อของแผ่นคอนกรีต มีลักษณะความเสียหายหลายรูปแบบ ได้แก่ การแข็งเปราะของวัสดุยาแนวรอยต่อ ไม่ยึดเกาะกับขอบของแผ่นพื้น การหลุดร่อนของวัสดุยาแนว วัสดุยาแนวรอยต่อถูกบีบออกมาจากรอยต่อ วัสดุยาแนวรอยต่อไม่เพียงพอ หายไป หรือการเกิดวัชพืช จากสาเหตุดังกล่าวทำให้น้ำสามารถไหลซึมลงสู่ชั้นโครงสร้างทาง หรืออาจเกิดการสะสมตัวของวัสดุที่ไม่สามารถอัดตัวได้ (Incompressible Materials) ตามแนวรอยต่อส่งผลให้แผ่นพื้นคอนกรีตไม่สามารถขยายตัวได้จนก่อให้เกิดความเสียหาย แสดงดังรูปที่ 2-14



รูปที่ 2-14 รอยต่อเสียหาย (Joint Cracks)

4.2.3) รอยแตกตามมุม (Corner Cracks)

รอยแตกตามมุม หรือ Corner Cracks คือ รอยแตกที่มีลักษณะตัดผ่านรอยต่อ (Joint) แต่ละด้านของแผ่นพื้นคอนกรีต โดยมีระยะห่างจากมุมไม่เกินครึ่งหนึ่งของความกว้างของแผ่นพื้น รอยแตกนี้มีความลึกต่อเนื่องตลอดความหนาของแผ่นพื้น ซึ่งมีสาเหตุจากหลายปัจจัย เช่น น้ำหนักกระทำซ้ำที่สูงมาก การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทำให้เกิดการบิดตัวของแผ่นคอนกรีต กำลังของการรับน้ำหนักของฐานรากไม่เพียงพอ หรือเกิดโพรงช่องว่างใต้แผ่นพื้นคอนกรีต เนื่องจากการเกิดการสูญเสียมวลรวมละเอียดไปกับน้ำที่พุ่งออกมาของ ชั้นโครงสร้างทาง แสดงดังรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 รอยแตกตามมุม (Corner Cracks)

4.2.4) รอยปะซ่อมที่เสียหาย (Patching)

รอยปะซ่อมที่เสียหาย หรือ Patching คือ รอยปะซ่อมผิวคอนกรีตเป็นบริเวณบนพื้นผิวคอนกรีตที่ได้รับความเสียหาย ซึ่งการปะด้วยวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความราบเรียบในการขับขี่ และเพื่อเป็นการป้องกันน้ำไหลซึมลงใต้แผ่นคอนกรีต แต่อย่างไรก็ตาม การปะซ่อมด้วยวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมิได้ซ่อมแซมรอยแตกหรือความเสียหายของเนื้อคอนกรีต ดังนั้น โดยทั่วไปภายในระยะเวลาไม่นาน รอยปะแอสฟัลต์คอนกรีตก็จะเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากความเสียหายด้านล่าง โดยการที่รอยปะซ่อมผิวคอนกรีตจะมีสภาพดีหรือได้รับความเสียหายมากนั้น จะขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหายเดิมที่เกิดขึ้นกับผิวทางคอนกรีตด้านล่าง แสดงดังรูปที่ 2-16



รูปที่ 2-16 รอยปะซ่อมที่เสียหาย (Patching)

4.2.5) ผิวทางหลุดร่อน (Raveling)

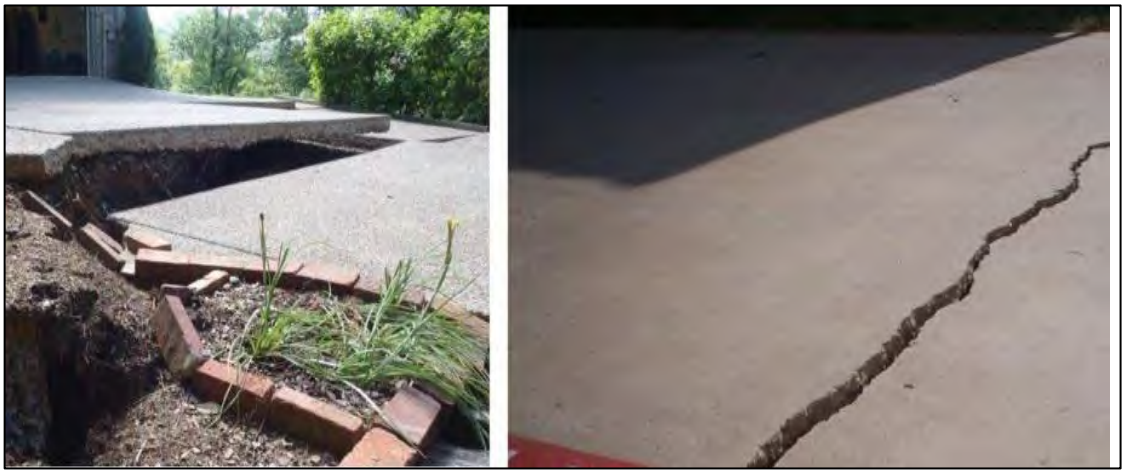
ผิวทางหลุดร่อน หรือ Raveling คือ การเกิดการหลุดร่อนของผิวทางอันเนื่องมาจากมีปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีตที่มากเกินไป หรือมีการเติมน้ำที่หน้างาน เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเยิ้มขึ้นที่ผิวหน้าคอนกรีต ซึ่งการเยิ้มของน้ำที่มากไปนั้น จะนำน้ำและส่วนละเอียดต่าง ๆ ลอยขึ้นมาอยู่ที่ผิวหน้าของพื้นคอนกรีต ส่งผลให้ผิวหน้าไม่แข็งแกร่ง แสดงดังรูปที่ 2-17



รูปที่ 2-17 ผิวทางหลุดร่อน (Raveling)

4.2.6) แผ่นทรุดตัวมากกว่า 10 เซนติเมตร (Depression)

แผ่นทรุดตัวมากกว่า 10 เซนติเมตร หรือ Depression คือ การเกิดความเสียหายบนแผ่นคอนกรีต ทำให้มีการทรุดตัวออกจากแผ่นอื่นเป็นระยะมากกว่า 10 เซนติเมตร ซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุ ทั้งการทรุดตัวของแผ่นพื้นคอนกรีตเนื่องจากวัสดุที่อยู่ใต้แผ่นพื้นในบริเวณใกล้เคียงกับรอยต่อ หรือรอยแตกมีกำลังรับน้ำหนักไม่เพียงพอ แสดงดังรูปที่ 2-18



รูปที่ 2-18 แผ่นทรุดตัวมากกว่า 10 เซนติเมตร (Depression)

4.2.7) แผ่นคอนกรีตเสียหายทั้งแผ่น (Whole Slab)

แผ่นคอนกรีตเสียหายทั้งแผ่น หรือ Whole Slab คือ การเกิดความเสียหายจำนวนมากอยู่ทั่วทั้งแผ่นคอนกรีต แสดงดังรูปที่ 2-19



รูปที่ 2-19 แผ่นคอนกรีตเสียหายทั้งแผ่น (Whole slab)

4.2.8) รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)

รอยแตกรอยต่อตามแนวยาว หรือ Longitudinal Cracks คือ รอยแตกเกิดขึ้นขนานกับแนวกึ่งกลางของถนน มีสาเหตุจากการทรุดตัวของดินฐานราก การเคลื่อนตัวของคันทาง หรือจากการสูญเสียกำลังรับน้ำหนักของวัสดุฐานรากในวัสดุใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีต แสดงดังรูปที่ 2-20



รูปที่ 2-20 รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)

ทั้งนี้ หน่วยการวัดความเสียหายจากถนนผิวคอนกรีตจะแตกต่างจากหน่วยการวัดความเสียหายของถนนผิวลาดยาง เช่น รอยแตกตามขวางของถนนผิวลาดยางจะมีหน่วยการวัดเป็นความยาว (เมตร) ส่วนรอยแตกตามขวางของถนนผิวคอนกรีตจะมีหน่วยการวัดเป็นจำนวนแผ่น/กิโลเมตร แสดงดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ตารางสรุปประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีตและหน่วยการวัด

ลำดับที่	ประเภทความเสียหาย	หน่วยการวัด
1	รอยแตกกว้างมากกว่า 5 มิลลิเมตร (High Cracks*)	เมตร
2	รอยต่อเสียหาย (Joint Cracks)	เมตร
3	รอยแตกตามมุม (Corner Cracks)	เมตร
4	รอยปะซ่อมที่เสียหาย (Patching)	เมตร
5	ผิวทางหลุดร่อน (Raveling)	ตารางเมตร
6	แผ่นทรุดตัวมากกว่า 10 เซนติเมตร (Depression)	ตารางเมตร
7	แผ่นคอนกรีตเสียหายทั้งแผ่น (Whole slab)	แผ่น
8	รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)	เมตร

5) ปัจจัยอื่นๆ

5.7.1 ค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth: MPD)

ค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth: MPD) เป็นพารามิเตอร์วัดสภาพความขรุขระของผิวทางระดับผิวทางหยาบ (Macro - texture) บ่งบอกความสามารถในการระบายน้ำของพื้นผิวทาง ซึ่งใช้ความยาวคลื่นในช่วง 0.5 - 50 มิลลิเมตร และความสูงคลื่นในช่วง 0.1 ถึง 25 มิลลิเมตร โดยค่า MPD มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของมวลรวม ขนาด รูปร่าง ขนาดคละ การเรียงตัว และทิศทางการวางตัวของมวลรวม ซึ่งมาตรฐานการวัดค่า MPD ถูกพัฒนาโดย ASTM E1845 และใช้เครื่องมือ High-Speed Laser Texture Measurement เป็นอุปกรณ์ในการสำรวจ

โดยจากสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ได้ใช้เกณฑ์ในการประเมิน ค่า MPD คือถ้าค่า MPD มากกว่า 1.5 ค่าความเสียดทานจะมากกว่า 0.35 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางที่ระดับพึงระวังในผิวทางตรงที่ยอมรับได้ จึงแบ่งเกณฑ์การประเมินเป็น 3 ระดับ แสดงดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 แสดงเกณฑ์การประเมินค่า MPD

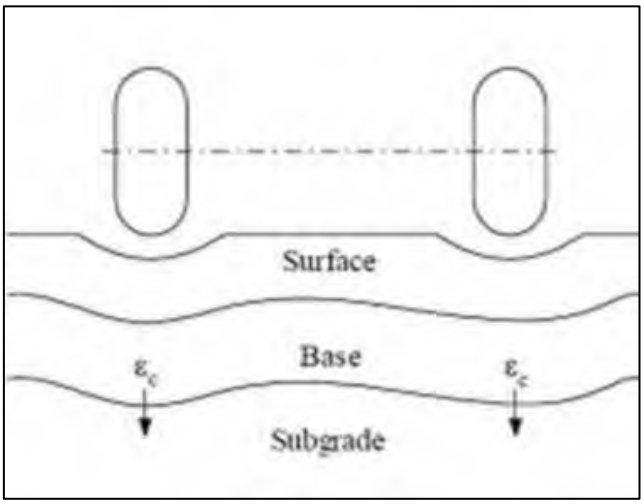
ปริมาณค่า MPD มากกว่า 1.5 ของสายทาง (%)	**แนวทางการตอบสนอง**
มากกว่า 50 %	ไม่จำเป็นต้องเข้าไปปรับปรุง
25 - 50 %	มีความเสี่ยงต้องเข้าไปตรวจสอบ และประเมินจากอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นประกอบกัน
น้อยกว่า 25 %	ระยะทาง มีความเสี่ยงต้องเข้าไปเพื่อตรวจสอบค่าความเสียดทานผิวทางโดยละเอียดตลอดทั้งสายทาง

5.7.2 ค่าความลึกร่องล้อ (Rutting Depth)

ความลึกของร่องล้อ (Rutting Depth) เกิดจากการรูปอย่างถาวรของผิวทางหรือชั้นพื้นทางตามแนวล้อในลักษณะการยุบตัวหรือการเคลื่อนตัวด้านข้าง โดยปกติจะมีสัดส่วนความยาวร่องล้อต่อความกว้างร่องล้อมากกว่า 4 เท่า โดยมีสาเหตุเกิดจาก

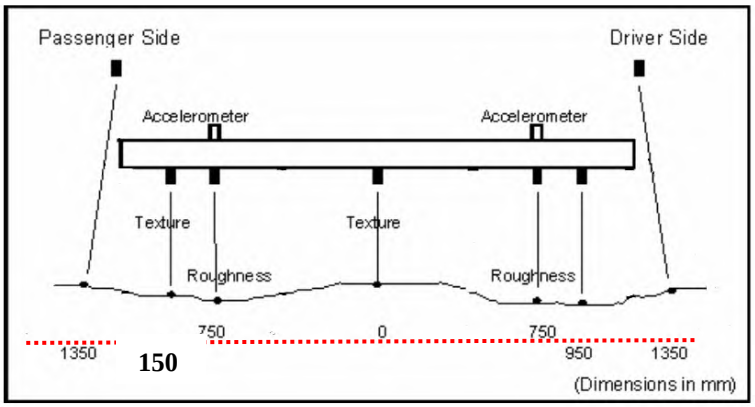
1. ความหนาของโครงสร้างทางไม่เพียงพอ
2. ความแข็งแรงของวัสดุชั้นผิวทางหรือชั้นพื้นทางไม่เพียงพอ
3. การบดอัดในชั้นผิวทางไม่แข็งแรงเพียงพอ

โดยความเสียหายประเภทความลึกร่องล้อสามารถอธิบายได้ดังรูปด้านล่าง คือ น้ำหนักของรถจะถ่ายลงล้อหลังจากนั้นน้ำหนักจะถ่ายลงผิวทางและถ่ายลงไปสู่ชั้นพื้นฐานต่อไป ซึ่งปริมาณการยุบจนเกิดความเสียหายแบบร่องล้อนั้นขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่กดลงถนนประกอบกับความแข็งแรงของถนน โดยมีตัวอย่างการเกิดความเสียหายแบบความลึกร่องล้อ แสดงดังรูปที่ 2-21



รูปที่ 2-21 การจำลองแสดงความเสียหายแบบร่องล้อ

ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) เป็นการใช้ชุดเลเซอร์ตั้งแต่ 7 หัวขึ้นไป ทำการตรวจวัดข้อมูลภาพตัดขวางผิวทางในทิศทางตั้งฉากกับแนวการสำรวจทุก ๆ ระยะทางสำรวจ 25 มิลลิเมตร จากนั้นทำการสร้างระนาบอ้างอิงที่เป็นระดับของผิวถนนแล้วทำการคำนวณความลึกบริเวณแนวร่องล้อ แยกทั้งสองฝั่ง ฝั่งซ้าย (Rut Left) และฝั่งขวา (Rut Right) แสดงดังรูปที่ 2-22



รูปที่ 2-22 การตรวจวัดความลึกร่องล้อด้วยเลเซอร์ 7 หัว

2.1.2 ศึกษาเกณฑ์การประเมินสมรรถนะของโครงสร้างถนนตามดัชนีชี้วัดด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนนจากในประเทศและต่างประเทศ

1) เกณฑ์การประเมินความขรุขระสากล (International Roughness Index: IRI)

ค่าดัชนีความเรียบขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) คือ พารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความขรุขระของผิวถนน ซึ่งเชื่อมโยงกับการให้บริการถนน การวัดค่าสามารถทำได้โดยวัดค่าระดับของผิวทางตามทิศทางการวิ่ง แล้วนำค่าผลรวมที่ได้มาหารด้วยระยะทางตามแนวยาวที่ทำการสำรวจ จะได้ค่า IRI ซึ่งมีหน่วยเป็น เมตร/กิโลเมตร ค่า IRI เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการบริหารสายทางในหลายประเทศและเป็นที่ยอมรับของธนาคารโลก (World Bank) โดยมาตรฐานของค่า IRI ของแต่ละประเทศมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการกำหนดนโยบาย การจัดสรรงบประมาณสำหรับการบริหารโครงข่ายทางของแต่ละประเทศและตามประเภทผิวทางต่าง ๆ

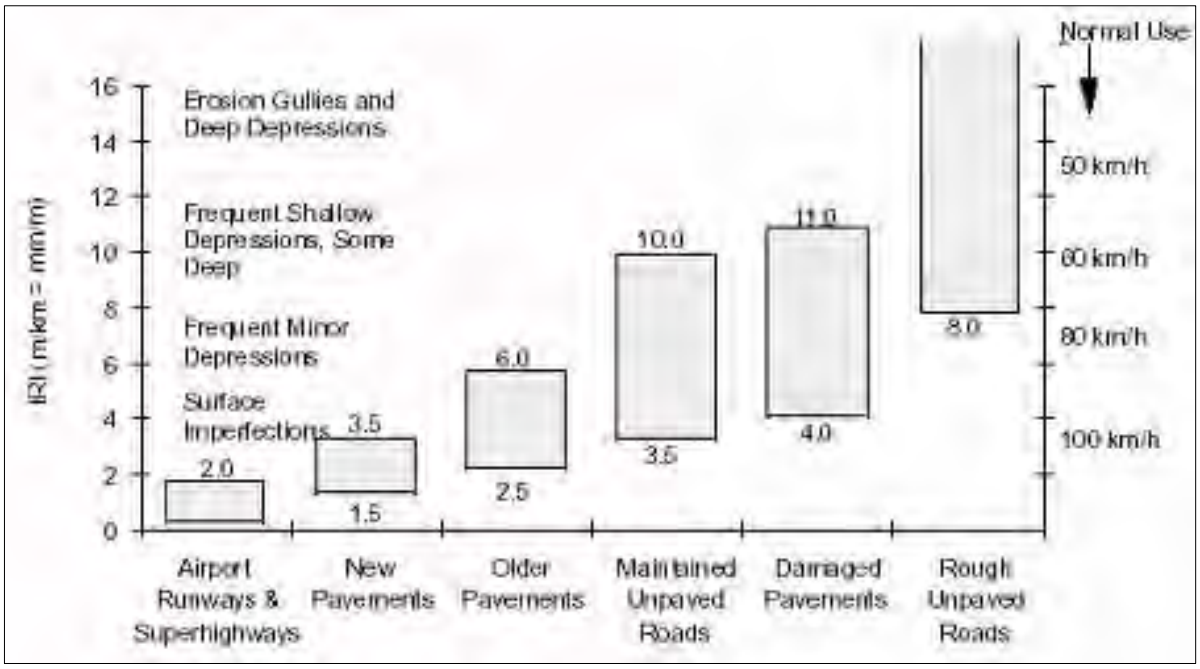
สำหรับดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index: IRI) เป็นดัชนีซึ่งสะท้อนถึงความเรียบของผิวทาง ตลอดจนคุณภาพและความสะดวกสบายในการขับขี่ (Serviceability) จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าในต่างประเทศมีการกำหนดค่า IRI ที่ยอมรับได้แตกต่างกัน เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกากำหนด IRI ที่ยอมรับได้ที่ 2.7 เมตรต่อกิโลเมตร ประเทศบราซิลกำหนดที่ 3.5 เมตรต่อกิโลเมตร ประเทศชิลี อุรุกวัย และสเปนกำหนดที่ 4.0 เมตรต่อกิโลเมตร นอกจากนี้ มีการกำหนดค่าของช่วง IRI ออกเป็น 4 ระดับ คือ แย่ (Poor) พอใช้ (Fair) ดี (Good) และดีมาก (Excellent) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 เกณฑ์ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index: IRI)

เกณฑ์/ประเทศ	ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index: IRI) (เมตรต่อกิโลเมตร)					
	สหรัฐอเมริกา	บราซิล	สเปน	ชิลี	อุรุกวัย	ฮอนดูรัส
ดีมาก (Excellent)	< 0.9	< 1.9	< 1.5	-	<3.2	-
ดี (Good)	0.9 - 1.5	1.9 - 2.7	1.5 - 2.5	< 3.0	3.2 - 3.9	< 3.5
พอใช้ (Fair)	1.5 - 2.7	2.7 - 3.5	2.5 - 4.0	3.0 - 4.0	3.9 - 4.6	3.5 - 6.0
แย่ (Poor)	> 2.7	> 3.5	> 4.0	> 4.0	> 4.6	>6.0

ที่มา : Improving Pavements With Long-Term Pavement Performance: Products for Today and Tomorrow (Federal Highway Administration Research and Technology, 2006)

นอกจากนี้ ค่า IRI ยังเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วของยานพาหนะ และประเภทของผิวถนน แสดงดังรูปที่ 2-23 กล่าวคือ เมื่อความเร็วของยานพาหนะซึ่งวิ่งอยู่บนถนนมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยเฉพาะพื้นผิวถนนที่ต้องรองรับยานพาหนะซึ่งมีความเร็วสูง อย่างเช่น รันเวย์ของสนามบิน จะพบว่าพิสัยของของ IRI จะมีค่าที่แคบกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวถนนลูกรังซึ่งมีค่า IRI ได้ตั้งแต่ระดับที่ 8 เมตร/กิโลเมตร เป็นต้นไป



ที่มา : Paterson, 1987

รูปที่ 2-23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับความเร็วของยานพาหนะ และประเภทของผิวถนน

ทั้งนี้ หน่วยงานในประเทศไทยได้มีการกำหนดเกณฑ์ประเมินระดับความขรุขระของผิวถนนเทียบกับค่า IRI เอาไว้ โดยได้กำหนดค่า IRI สำหรับพื้นผิวถนนที่มีความเรียบมากไว้น้อยกว่า 2.5 เมตร/กิโลเมตร และพื้นผิวถนนที่มีความขรุขระมาก จะมีค่า IRI มากกว่า 4.5 เมตร/กิโลเมตร แสดงดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 ตารางแสดงระดับความขรุขระของผิวถนนเทียบกับค่า IRI

	เกณฑ์	
ค่าดัชนีความขรุขระสากล IRI (m/km)	เรียบมาก	น้อยกว่า 2.5
	เรียบ	มากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 - น้อยกว่า 3.5
	ขรุขระ	มากกว่าหรือเท่ากับ 3.5 - น้อยกว่า 4.5
	ขรุขระมาก	มากกว่า 4.5

ที่มา : กรมทางหลวง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

จากการสำรวจและตรวจสอบสภาพถนน ในโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 6 บางปะอิน-นครราชสีมา และหมายเลข 81 บางใหญ่-กาญจนบุรี พบว่า กองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง กรมทางหลวง ได้กำหนด Key Performance Indicators (KPIs) สำหรับเป็นเกณฑ์การประเมินค่า IRI แสดงดังตารางที่ 2-8 ดังนี้

ตารางที่ 2-8 KPIs and Demerit Points for Maintenance Noncompliance Events

KPI	Description	Indicator	Demerit Point	Cure Period Category	Cure Period		Frequency of assessment
					Temporary Remedy	Permanent Remedy	
8	**Ride Quality**						
8.1	Roughness of Concrete Pavement						
8.1.1	Average IRI in any 1,000 m	Maintained condition Average IRI ≤ 3.5 m/km	400 per 1 lane-1,000 m	A	-	3 Months	Twice Annually
8.1.2	Average IRI in any 100 m	Maintained condition Average IRI ≤ 4.0 m/km	40 per 1 lane-100 m	A	-	3 Months	Twice Annually
8.1.3	Average IRI in any Concrete Pavement Panel	Renewed condition Average IRI ≤ 2.5 m/km	10 per panel	A	-	7 days	Per Occurrence
8.2	Roughness of AC Pavement						
8.2.1	Average IRI in any 1,000 m	a) Maintained condition Average IRI ≤ 3.0 m/km	400 per 1 lane-1,000 m	A	-	3 Mouths	Twice Annually
		b) Renewed condition Average IRI ≤ 2.0 m/km	400 per 1 lane-1,000 m	A	-	7 days	Per Occurrence
8.2.2	Average IRI in any 100 m	a) Maintained condition Average IRI ≤ 3.5 m/km	40 per 1 lane-100 m	A	-	3 Months	Twice Annually
		b) Renewed condition Average IRI ≤ 2.5 m/km	40 per 1 lane-100 m	A	-	7 days	Per Occurrence

ที่มา : กองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง กรมทางหลวง

2) เกณฑ์การประเมินความเสียดทาน

ที่ปรึกษาได้พิจารณาเกณฑ์ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางจากต่างประเทศ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ระดับเกณฑ์ที่กำหนดมีความสอดคล้องกับคุณภาพและมาตรฐานของต่างประเทศชั้นนำในด้านวิศวกรรมงานทาง ที่ปรึกษาได้พิจารณาเกณฑ์ระดับพึงระวัง (Investigatory Level) และระดับปรับปรุงแก้ไข (Intervention Level) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศออสเตรเลีย และประเทศนิวซีแลนด์ เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนด แสดงดังตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-9 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวทางที่ระดับพึงระวังในประเทศออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ และสหรัฐอเมริกา

ลักษณะทางเรขาคณิตของถนน	ระดับพึงระวัง (Investigatory Level)*		
	ออสเตรเลีย	นิวซีแลนด์	สหรัฐอเมริกา
ทางโค้ง	0.45-0.50	0.45-0.55	0.45-0.55
ทางตรง	0.35-0.40	0.35-0.45	0.35-0.45
ทางแยก	0.40-0.45	0.40-0.50	0.45-0.55
ทางลาดชัน	0.45-0.50	0.45-0.55	0.45-0.50

หมายเหตุ : ช่วงสำหรับ Investigatory ในต่างประเทศนั้น พิจารณาว่าเป็นถนนเป็น Major หรือ Minor Road ซึ่งนิยามคือ ADT > 2,500 veh/lane ถ้าเป็น Minor Road ให้ใช้ค่าน้อย ค่า Intervention จะต่ำกว่าค่า Investigatory ประมาณ 0.05

Cenek et al, 2000 ได้ระบุไว้ถึงค่า IFI ที่พึงมี ณ จุดต่าง ๆ บนถนน แสดงดังตารางที่ 2-10 จะเห็นได้ว่าทางแยก หรือทางข้าม ควรจะเป็นจุดที่มีค่า IFI สูงที่สุด เพื่อให้คนขับสามารถหยุดรถได้ทัน ทั้งนี้ค่า IFI ที่วัดได้ จะเป็นค่า IFI ที่ได้จากความเร็วทดสอบที่ 91 กิโลเมตร/ชั่วโมง และมีค่า MTD ที่ 0.9 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2-10 ค่า IFI ที่พึงมี ณ จุดต่าง ๆ บนถนน ภายใต้ความเร็วทดสอบที่ 91 กิโลเมตร/ชั่วโมง และค่า MTD ที่ 0.9 มิลลิเมตร

Site Category	Example Requirement (Transit New Zealand)		IFI		Calculated Wet Friction level	
	investigatory level (SFC50)	Sand Patch Texture, mm (MTD)	F60	Sp (km/h)	F50	F100
Intersections and crossings	0.55	0.9	0.41	91	0.46	0.27
Tight curves (< 250 m radius) and steep downgrades(<10%)	0.5	0.9	0.38	91	0.42	0.24
Downgrades 5 to 10% and approaches to junctions	0.45	0.9	0.34	91	0.38	0.22
Undivided carriageways	0.4	0.9	0.31	91	0.34	0.2
Divided carriageways	0.35	0.9	0.27	91	0.31	0.18

ที่มา : Application of the IFI to Existing Skid Resistance and Texture Depth Requirement (Cenek et al, 2000)

จากการศึกษาพบว่า หน่วยงานภายในประเทศอย่างเช่นกรมทางหลวง ได้ให้แนวทางในการพิจารณาสังเกตค่า IFI ที่พึงระวังแสดงดังตารางที่ 2-11 ดังนี้

ตารางที่ 2-11 เกณฑ์การซ่อมบำรุงของกรมทางหลวง

ดัชนีความเสียดทานสากล IFI (m/km)	**เกณฑ์**	
	ค่าระดับพึงระวัง	0.32
	ค่าระดับปรับปรุงแก้ไข	0.25

ที่มา : กรมทางหลวง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

3) เกณฑ์การประเมินค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างทาง (Deflection)

จากการศึกษาข้อมูลในต่างประเทศ พบว่ามีเกณฑ์ประเมินค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างทางโดยใช้เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) จาก National Road ปี 2000 แสดงดังตารางที่ 2-12 ดังนี้

ตารางที่ 2-12 ตารางเกณฑ์การประเมินค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างถนน

Pavement Section	**Structural Condition Rating**	D_0 (**μm**)	*RoC* (**μm**)	*BLI* (**μm**)	*MLI* (**μm**)	*LLI* (**μm**)
Granular base	Sound	< 500	> 100	< 200	< 100	< 50
	Warning	500-750	50-100	200-400	100-200	50-100
	Severe	> 750	< 50	> 400	> 200	> 100
Cementitious base	Sound	< 200	> 150	< 100	< 50	< 40
	Warning	200-400	80-150	100-300	50-100	40-80
	Severe	> 400	< 80	> 300	> 100	> 80
Bituminous base	Sound	< 400	> 250	< 200	< 100	< 50
	Severe	400-600	100-250	200-400	100-150	50-80
	Warning	> 600	< 100	> 400	> 150	> 80

ที่มา : BLI, MLI, LLI, and RoC, Horak and Emery determined benchmark classification for various flexible pavement sections

4) เกณฑ์การประเมินความเสียหายของผิวทาง (Pavement Distress)

ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Pavement Distress) เป็นข้อมูลสภาพความเสียหายของผิวทาง เป็นข้อมูลหลักในการพิจารณาเลือกวิธีการบำรุงรักษาทางได้อย่างเหมาะสม โดยที่ความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีตมีหลายชนิด แต่ละชนิดความเสียหายอาจเกิดจากสาเหตุเดียวหรือหลายสาเหตุ เช่น ปริมาณจราจร อายุการใช้งาน น้ำหนักยานพาหนะ สภาพอากาศ โดยที่สาเหตุเดียวอาจทำให้เกิดความเสียหายหลายชนิดได้ ซึ่งบางชนิดความเสียหายอาจเลือกวิธีการซ่อมบำรุงรักษาได้หลายวิธี ดังนั้นการตัดสินใจเลือกวิธีซ่อมบำรุงรักษาจึงต้อง อาศัยปัจจัยอื่น ๆ มาประกอบกัน เช่น คุณสมบัติของชั้นวัสดุ การระบายน้ำบนผิวทาง การระบายน้ำข้างทาง ระดับน้ำใต้ดิน สภาพไหล่ทาง ตลอดจนประวัติการซ่อมบำรุงรักษา ซึ่งความเสียหายมีหลายประเภท โดยมีตัวอย่างประเภทความเสียหายที่พบได้บ่อย แสดงดังตารางที่ 2-13

ตารางที่ 2-13 แสดงประเภทความเสียหายจำแนกตามประเภทผิวทาง

ประเภทผิวทาง	ประเภทความเสียหาย
ลาดยาง	รอยแตกตามยาว รอยแตกตามขวาง รอยแตกหนังจระเข้ การทรุดตามแนวร่องล้อ หลุมบ่อ การเยิ้ม
คอนกรีต	รอยแตกตามยาว รอยแตกตามขวาง ผิวหน้าคอนกรีตหลุดล่อน การชำรุดของรอยต่อ

สำหรับเกณฑ์การประเมินความเสียหายของผิวทาง กระทรวงขนส่งระหว่างประเทศสหรัฐอเมริกา กองทางหลวงระหว่างประเทศ (U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration) ได้กำหนดเกณฑ์ดัชนีสภาพถนน (Pavement Condition Index: PCI) เอาไว้แสดงดังตารางที่ 2-14 โดยเกณฑ์ดังกล่าว คือ ระบบการให้คะแนนเพื่อประเมินสภาพถนนที่เป็นค่าตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยที่ 100 คือคะแนนสูงสุด ซึ่งถือเป็นสภาพถนนที่ดีที่สุด และ 0 คือคะแนนต่ำสุด กล่าวคือเป็นสภาพถนนที่แย่ที่สุด ดัชนี PCI จะมีการกำหนดโดยการทำการตรวจสอบภาพตัวอย่างของถนน และประเมินลักษณะโครงสร้างของผิวหน้าถนน เช่น รอยแตกร้าว ร่องล้อ ความขรุขระ และความเสียดทาน นอกจากนี้ ยังสามารถหาค่าได้โดยใช้เทคนิคขั้นสูงอีกด้วย เช่น วิธีการสำรวจด้วยเรดาร์หยั่งลึก (Ground Penetrating Radar: GPR) หรือเทคนิคการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing Methods) ดัชนีสภาพถนน มักถูกใช้โดยหน่วยงานขนส่งและองค์กรอื่น ๆ เพื่อเลือกลำดับการบำรุงรักษาถนน การฟื้นฟู การจัดสรรงบประมาณ และการประเมินประสิทธิภาพของโครงการเกี่ยวกับการซ่อมบำรุงถนนในประเทศต่าง ๆ

ตารางที่ 2-14 ตารางแสดงค่าดัชนีสภาพถนน Pavement Condition Index (PCI)

คะแนน PCI	เกณฑ์
100	Excellent
90-99	Very Good
80-89	Good
70-79	Fair
60-69	Poor
50-59	Very Poor
0-49	Failed

ที่มา : U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration

2.1.3 ศึกษาเครื่องมือและเทคโนโลยีการสำรวจสภาพถนนตามมาตรฐานสากล หรือได้รับความนิยมในต่างประเทศ ได้แก่ เครื่องมือสำรวจโครงสร้างถนน เครื่องมือสำรวจความเรียบของถนน เครื่องมือสำรวจความเสียหายของผิวทาง และเครื่องมือสำรวจความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง

1) เครื่องมือสำหรับใช้ในการจัดเก็บข้อมูลดัชนีความขรุขระสากล (IRI)

ดัชนีความขรุขระสากล (IRI) เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงสภาพความขรุขระของผิวทาง อันเป็นผลจากปริมาณรถที่แล่นผ่าน ความเสียหายของผิวทาง หรืออายุการใช้งานของสายทาง ซึ่งมีผลกระทบไปยังความเร็วในการขับขี่ยานพาหนะบนสายทาง การใช้ค่า IRI เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์มีข้อดีต่างจากดัชนีชี้วัดสายทางประเภทอื่น คือ มีความคล่องตัวในการเก็บข้อมูลมากกว่า เนื่องจากค่า IRI เป็นการแปลงค่าความขรุขระที่วัดได้จากเครื่องมือที่ติดกับรถสำรวจ จึงทำให้สะดวกและรวดเร็ว โดยมีตัวอย่างของเครื่องมือสำหรับใช้ในการจัดเก็บข้อมูล IRI ดังต่อไปนี้

1.1) Reference Profiler

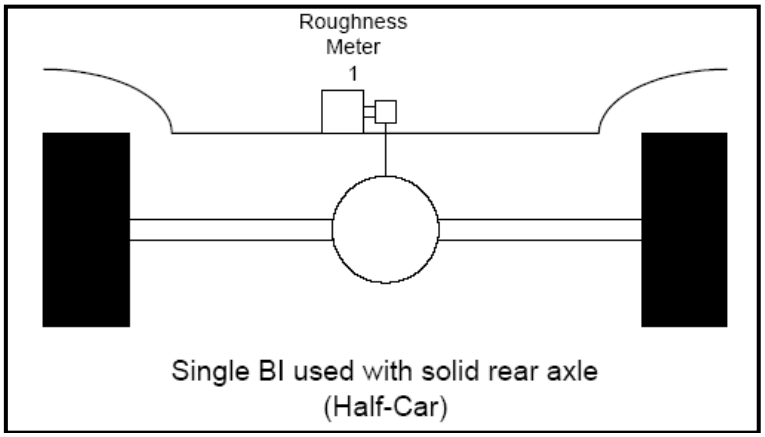
เป็นเครื่องมือวัดค่าระดับความแตกต่างของขาตั้ง 2 ขา โดยมีระยะห่าง 30 เซนติเมตร โดยมีเครื่องจับระดับอัตโนมัติอยู่ภายใน และอ่านค่าระดับความแตกต่างของขาตั้งจากจอภาพทั้งสองข้าการวัดค่าระดับโดยเครื่องมือ Reference Profiler เมื่อตั้งขาตั้งอ่านค่าระดับ จุดแรกแล้วหมุนตัวเครื่องโดยให้ขาหน้ากดที่จุดเดิม ปล่อยให้ขาหลังสลับไปเป็นขาหน้าแล้วอ่านค่าระดับ ทำเช่นนี้ไปอย่างต่อเนื่องจนครบระยะความยาวที่ต้องการจัดเก็บข้อมูลจากข้างต้นจะพบว่าเครื่องมือ Reference Profiler เป็นเครื่องมือที่ต้องใช้ระยะเวลาที่การสำรวจค่อนข้างสูง และมีข้อจำกัดบนถนนที่มีปริมาณจราจรสูง ซึ่งอาจจะเหมาะสำหรับโครงการที่เป็นแปลงทดสอบระยะสั้น ๆ ตัวอย่างอุปกรณ์ Reference Profiler แสดงดังรูปที่ 2-24



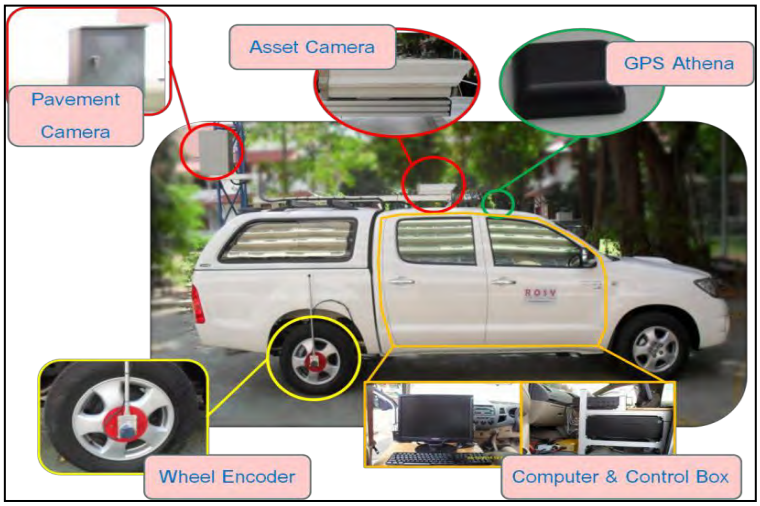
รูปที่ 2-24 ตัวอย่างการจัดเก็บข้อมูล IRI ด้วยเครื่องมือ Reference Profiler

1.2) Bump Integrator

อุปกรณ์สำรวจดัชนีความเรียบขรุขระสากลโดยใช้อุปกรณ์ Bump Integrator (BI) โดยจะติดตั้งอุปกรณ์ Bump Integrator ทำการติดตั้งภายในยานพาหนะสำรวจสภาพทาง โดยมีองค์ประกอบหลัก ๆ คือ Bump Integrator, Odometer, อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ และคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผล เนื่องจาก ยานพาหนะสำรวจสภาพความเรียบผิวทางส่วนใหญ่ที่นำมาติดตั้ง Bump Integrator นั้น เป็นลักษณะเพลาหลังเดี่ยว ควบคุมการสั่นสะเทือนสองล้อ (Solid Rear Axle) การติดตั้งอุปกรณ์ Bump Integrator จึงทำการติดตั้ง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางเพลาท้ายของยานพาหนะ แสดงดังรูปที่ 2-25 ตัวอย่างรถที่ติดตั้งเครื่องมือสำรวจชนิด Bump Integrator แสดงดังรูปที่ 2-26



รูปที่ 2-25 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ Bump Integrator

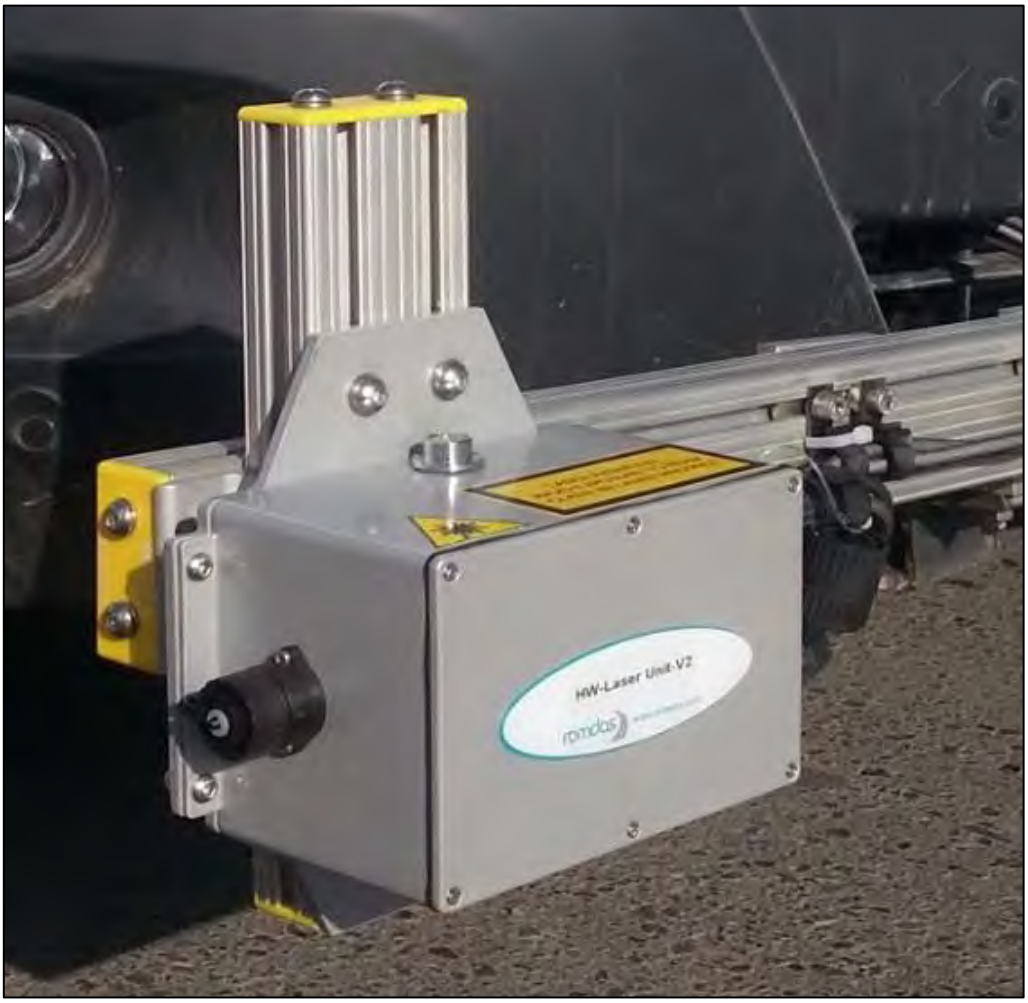


รูปที่ 2-26 รถสำรวจติดตั้งอุปกรณ์ Bump Integrator

1.3) Laser Profiler

Laser Profilometer และ Accelerometer โดยข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์เลเซอร์มีลักษณะข้อมูลเป็นค่าต่อเนื่องตลอดระยะทางการสำรวจเมื่อรถสำรวจวิ่งสำรวจข้อมูล ด้วยความเร็วประมาณ 30 ถึง 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หลักการทำงานของเครื่อง Laser Profilometer เป็นการวัดระยะความสูงจากระดับพื้นอ้างอิงของชุดเครื่องมือกับเป้าหมาย โดยใช้หลักเรขาคณิตของสำแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับจากเป้าหมายผ่านทางระบบเลนส์ บันทึกลงบนแถบความไวเชิงเส้น

การทำงานของเครื่อง Laser Profilometer ซึ่งอาศัยการสะท้อนกลับจากลำแสงเลเซอร์ ดังนั้นผิวจราจรที่เปียก หรือ ผิวจราจรที่มีความเสียหายรุนแรงอาจจะทำให้เกิดการหักเหของแสงและก่อให้เกิดการประมวลที่ผิดพลาดได้ ตัวอย่างอุปกรณ์ Laser Profilometer แสดงดังรูปที่ 2-27 รถสำรวจที่ติดตั้งอุปกรณ์ Laser แสดงดังรูปที่ 2-28



รูปที่ 2-27 ตัวอย่างอุปกรณ์ Laser Profilometer



รูปที่ 2-28 ตัวอย่างรถสำรวจติดตั้งอุปกรณ์ Laser Profilometer

2) เครื่องมือสำหรับใช้ในการจัดเก็บข้อมูลความเสียดทาน

จากการศึกษา พบว่า ในปัจจุบันมีเครื่องมือและ เทคโนโลยีในเก็บข้อมูลค่าความเสียดทานอยู่หลากหลายรูปแบบ โดยสามารถจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การสำรวจความเสียดทานแบบต่อเนื่อง (Continuous Friction Measuring Equipment) และการสำรวจข้อมูลความเสียดทานแบบจุด (Skid Resistance) โดยมีรายละเอียดพอสังเขปดังต่อไปนี้

2.1 การสำรวจความเสียดทานแบบต่อเนื่อง (Continuous Friction Measuring Equipment)

การสำรวจความเสียดทานแบบต่อเนื่อง (Continuous Friction Measuring Equipment) ประกอบด้วยเครื่องมือ หลากหลายรูปแบบที่เครื่องมือหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทย คือ เครื่องมือทดสอบแบบ Fixed-slip จะใช้วัดความต้านทานการหมุนของล้อชนิดเรียบที่ไถลที่ความเร็วค่าหนึ่ง ๆ ประมาณร้อยละ 12 - 20 ของความเร็วรถที่ทำการลาก โดยจะทำการทดสอบขณะพื้นผิวเปียกที่ความหนาของชั้นน้ำเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ที่ด้านหน้ารถต่อพ่วงที่มีเครื่องมือวัดค่าความเสียดทานจะทดสอบที่ความเร็ว 64 กม./ชม. การทดสอบการหมุนของล้อจะถูกยับยั้งล้อที่หมุน เมื่อถึงร้อยละความเร็วของรถลากที่กำหนด น้ำหนักล้อแรงเสียดทานจะถูกคำนวณโดยการแปลงค่าแรงดึงและโมเมนต์บิด

โดยการสำรวจความเสียดทานแบบต่อเนื่อง (Continuous Friction Measuring Equipment) ในโครงการนี้จะทำการสำรวจความต้านทานการลื่นไถลด้วยเครื่องมือ ASFT - Airport Surface Friction Tester รุ่น T-10 Trailer Surface Friction Tester ซึ่งเป็นการทดสอบความฝืดผิวทาง โดยวิธีวัดความฝืดระหว่างผิวทางถนนกับล้อยางของรถทดสอบ ที่มีลักษณะเป็นรถทดสอบพ่วง 2 ล้อ และล้อทดสอบ 1 ล้อ ติดตั้งอยู่กับเพลา แสดงดังรูปที่ 2-29 และมีกลไกที่ใช้ต้านทานการเคลื่อนที่โดยเกียร์ และระบบโซ่เชื่อมกับเพลาล้อขับเคลื่อนทำให้เกิดการหน่วงที่ล้อทดสอบ กำหนดน้ำหนักที่กระทำลงบนล้อทดสอบในแนวตั้งเพื่อสามารถคำนวณแรงที่กดลงบนพื้นผิวทาง อันเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อความเสียดทานที่จะทดสอบได้ ในการทดสอบจะทดสอบด้วยล้อในสภาพพื้นผิวเปียกที่ความเร็วคงที่ด้วยการวัดแรงลื่นไถล สำหรับการทดสอบผิวทางในสภาพเปียกน้ำจะถูกเก็บสะสมไว้ที่ถังน้ำ ซึ่งอยู่บนรถลากต่อท่อกับวาล์วควบคุมหัวฉีดน้ำที่ติดตั้งอยู่บริเวณด้านหน้าของล้อทดสอบ เพื่อปล่อยน้ำที่บริเวณล้อทดสอบ ควบคุมโดยชุดปั๊มที่ติดตั้งอยู่ในชุดรถทดสอบ เพื่อให้ได้ความหนาของฟิล์มน้ำตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้

เมื่อเริ่มการวิ่ง ตัวรถทดสอบจะทดรอบของล้อยางรถทดสอบให้ต่ำกว่ารอบที่รถลากขณะวิ่ง จึงเป็นการจำลองการห้ามล้อแบบไม่ล็อกล้อ (Anti-Brake System) ทำให้สามารถทดสอบความเสียดทานตามยาวในลักษณะต่อเนื่องได้ (Continuous Longitudinal Friction)



รูปที่ 2-29 เครื่องมือ Fixed Slip

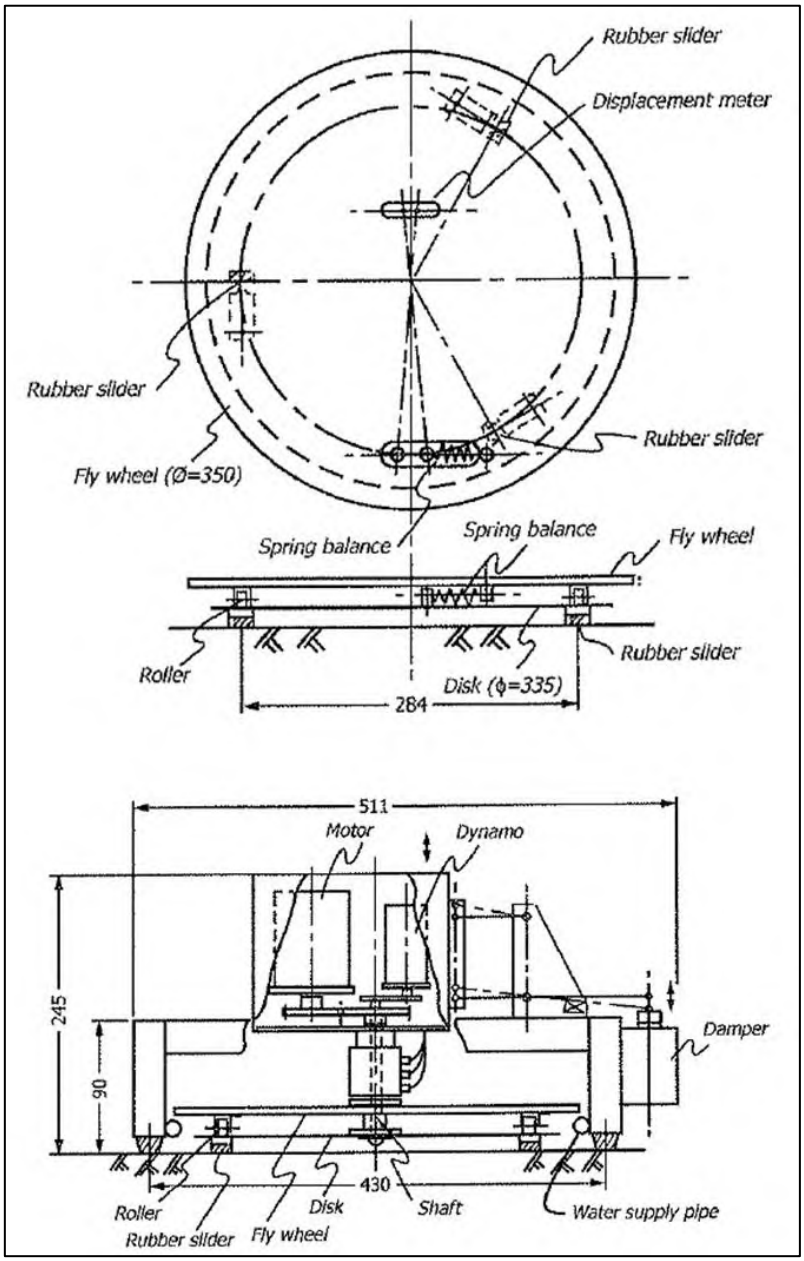
2.2 การสำรวจข้อมูลความเสียดทานแบบจุด (Skid Resistance)

การสำรวจข้อมูลความเสียดทานแบบจุด (Skid Resistance) ในโครงการนี้จะดำเนินการทดสอบด้วยเครื่อง Dynamic Friction Tester (DFT) ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบที่นิยมใช้ในประเทศไทย โดยเป็นระบบโครงสร้างที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ โดยปกติจะถูกเก็บที่ 12, 24, 36, และ 48 ไมล์/ชม. หรือ 20, 40, 60, และ 80 กม./ชม. ความเร็วนี้ มีความสัมพันธ์กับแรงเสียดทาน เครื่องนี้ควรติดกับตัวรถที่มีแท็งก์น้ำและคอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E1911 แสดงดังรูปที่ 2-30 เครื่องทดสอบ DFT จะมีส่วนประกอบ ได้แก่



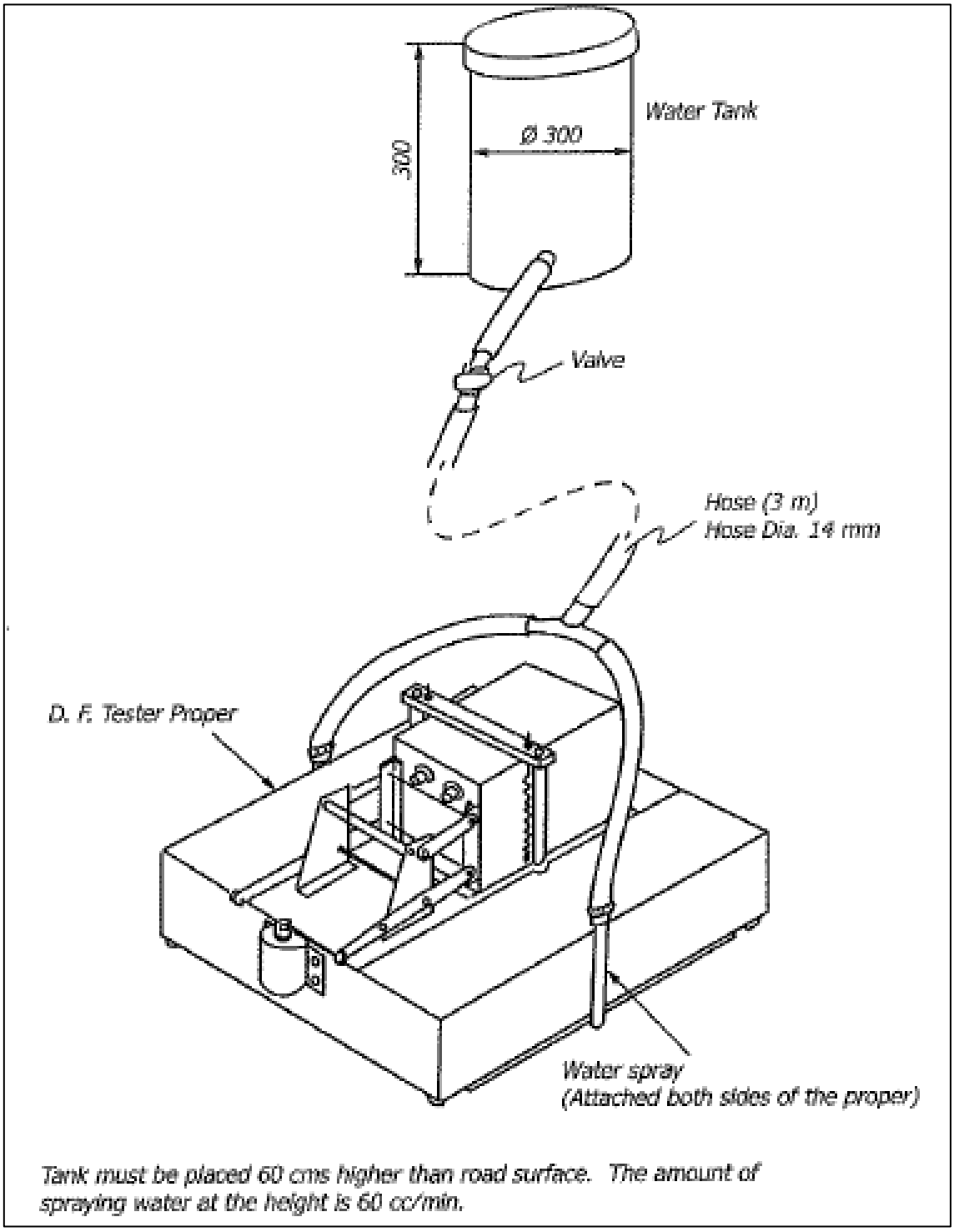
รูปที่ 2-30 เครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT)

- ตัวเครื่องทดสอบ DFT แสดงรายละเอียดตัวเครื่องทดสอบแสดงดังรูปที่ 2-31 ประกอบด้วยฐานหมุนและจานหมุน (Fly wheel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 350 มิลลิเมตร ซึ่งจะถูกขับเคลื่อนโดยชุดมอเตอร์ แผ่นยาง (Rubber slider) 3 แผ่นถูกติดตั้งไว้บนจานหมุนระยะห่างเท่า ๆ กัน ซึ่งแต่ละแผ่นจะรับน้ำหนักจากเครื่องทดสอบข้างละ 11.8 N Spring Balance เชื่อมระหว่างฐานหมุนและจานหมุน เข้าด้วยกัน เพื่อลดค่าการแอ่นตัวระว่างแผ่น 2 แผ่นดังกล่าว



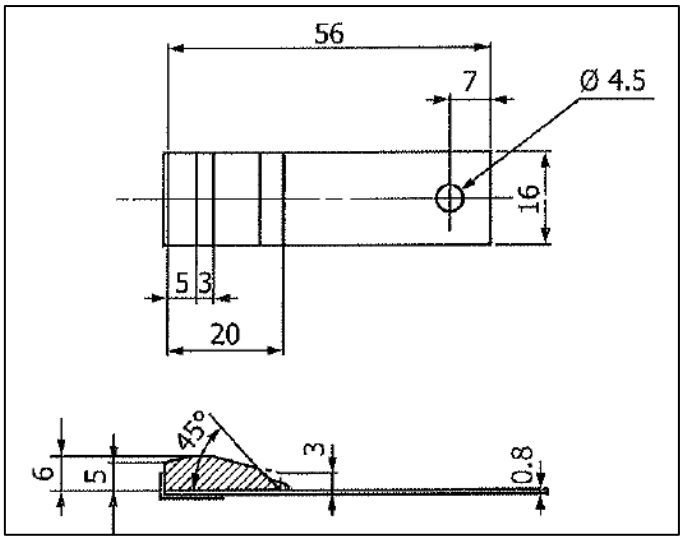
รูปที่ 2-31 ตัวเครื่องทดสอบ DFT (หน่วย มิลลิเมตร)

- Water Supply (ถังน้ำเลี้ยง) แสดงดัง จะปล่อยน้ำเพื่อหล่อเลี้ยงพื้นผิวให้เปียกอยู่เสมอ โดยถังจะอยู่สูงกว่าเครื่องทดสอบ 0.6 เมตร อัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 3.6 ลิตรต่อนาที ความหนาของชั้นฟิล์มน้ำอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร



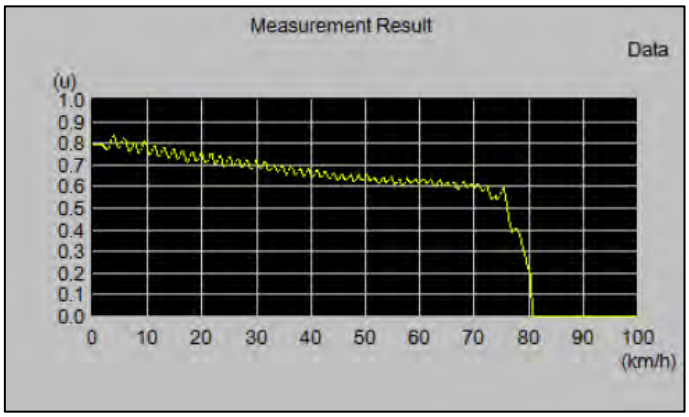
รูปที่ 2-32 Water Supply (หน่วย มิลลิเมตร)

- แผ่นยางทดสอบ (Rubber Slider) แสดงดังรูปที่ 2-33 ประกอบด้วยแผ่นเหล็กขนาด 6x16x20 มิลลิเมตร ติดเข้ากับแผ่นยาง ซึ่งได้มาตรฐานความแข็งแรงของยาง ASTM E501 โดยความแข็งแรงของยางอยู่ที่ 58±2 สามารถรับแรงดันได้สูงสุด 150 kPa แผ่นยางจะต้องเปลี่ยนทุกครั้งหลังจากการใช้งานครบ 12 รอบ



รูปที่ 2-33 แผ่นยางทดสอบ (Rubber slider)

- การทดสอบจะเริ่มจากวางเครื่องทดสอบลงบนแผ่นตัวอย่างเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลทดสอบ แล้วทำการทดสอบโดยเปิดเครื่อง DFT พร้อมน้ำหล่อเลี้ยงระหว่างทดสอบ เพื่อสร้างชั้นฟิล์ม เครื่องจะทำการหมุนโดยมีรอบความเร็วสูงสุดที่ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง จานหมุนจะค่อยๆ เลื่อนตำแหน่งลงไปสัมผัสบนแผ่นตัวอย่าง และค่อย ๆ ลดความเร็วลง ผลลัพธ์ที่ได้คือความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการลื่นไถลและความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง) แสดงดังรูปที่ 2-34



รูปที่ 2-34 ผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องทดสอบ DFT

3) เครื่องมือสำหรับใช้ในการจัดเก็บข้อมูลค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างทาง (Deflection)

การสำรวจความแข็งแรงของโครงสร้างทางด้วยเครื่องมือสำรวจ Falling Weight Deflectometer (FWD) มีหลักการทำงานโดยการปล่อยตุ้มน้ำหนักตกกระแทกลงบนผิวทาง แล้วทำการวัดค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นและคำนวณย้อนกลับ โดยค่าการแอ่นตัวนั้นเพื่อหาค่าโมดูลัสของวัสดุชั้นทางแต่ละชั้น ซึ่งค่าโมดูลัสเหล่านี้จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับใช้ในการคำนวณอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของถนนและสามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบการเสริมผิวทางต่อไปได้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ของเครื่องมือดังต่อไปนี้

3.1 รถตู้ลากจูงและรถลากพ่วงทดสอบเครื่องมือ FWD แสดงดังรูปที่ 2-35



รูปที่ 2-35 ตัวอย่างรถตู้ลากจูงและรถลากพ่วงทดสอบเครื่องมือ FWD

3.2 ชุดอุปกรณ์ทดสอบของรถลากพ่วง ได้แก่ แผงวงจรควบคุม Geophone แผ่น Plate ปั๊มลม และแผ่นน้ำหนัก แสดงดังรูปที่ 2-36



รูปที่ 2-36 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์ทดสอบ FWD

รถสำรวจสภาพโครงสร้างชั้นทางด้วยตุ้มน้ำหนักกระแทก (Falling Weight Deflectometer) เป็นเทคโนโลยีที่ สามารถทดสอบได้รวดเร็ว เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับหาค่าการแอ่นตัว (Deflection) ของถนน เมื่อมีแรงกระทำต่อถนน และสามารถ ทำการทดสอบการวัดค่าและประมวลผลค่าการยุบตัว, ค่าความแข็งแรง และค่าความสัมพันธ์เปลี่ยนแปลงกับความแข็งแรง โดยการทิ้งน้ำหนักกระแทกลงบนผิวทาง ซึ่งสามารถทดสอบได้ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D4694

รถสำรวจสภาพโครงสร้างชั้นทางด้วยตุ้มน้ำหนักกระแทก (Falling Weight Deflectometer) ได้รับการออกแบบมาเพื่อน้ำหนักกระทำไปยังพื้นผิวถนน ซึ่งจำลองการน้ำหนักจากการบรรทุกที่น้ำหนักและแรงกระแทกที่ถูกสร้างขึ้นโดยการทิ้งน้ำหนักที่มีขนาดใหญ่และส่งไปยังทางเท้าผ่านแผ่นรับน้ำหนักแบบวงกลม ซึ่งโดยทั่วไปจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มม. สำหรับถนน จากนั้นโหลดเซลล์ที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของแผ่นน้ำหนักจะทำการตรวจวัดค่าแรงที่ได้

โดยแรงจะเป็นลักษณะแบบจุดที่กระทำบนผิวทาง โดยทั่วไปแล้วโหลดสำหรับการทดสอบบนถนนประมาณ 40 kN ให้แรงดันประมาณ 567 kPa ใต้แผ่นโหลด (50 kN / 707 kPa ตามมาตรฐานยุโรป)

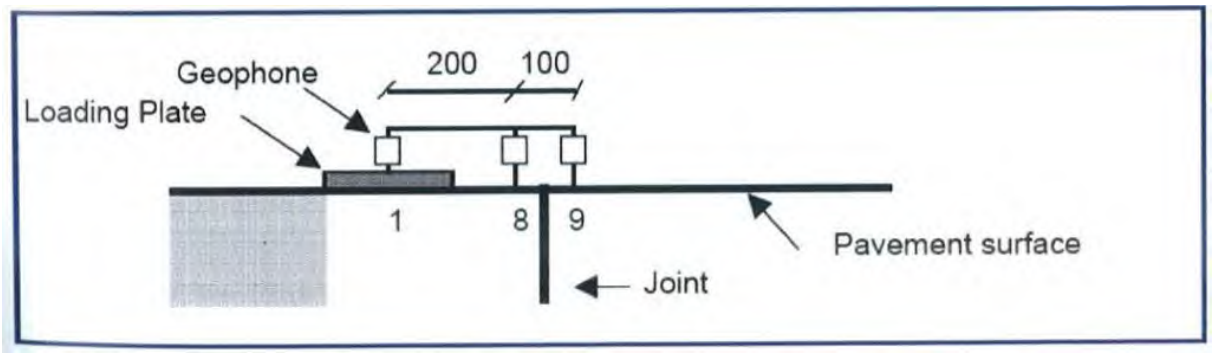
จากนั้น เซ็นเซอร์การโก่งตัว (geophones; force-balance seismometers) ซึ่งอยู่บริเวณศูนย์กลางของแผ่นน้ำหนักจะวัดความโก่งตัวของผิวทางที่ตอบสนองต่อน้ำหนักที่กระทำ โดยจะมีการตรวจวัดทางแนวที่ระยะต่าง ๆ คือ 0, 200, 300, 450, 600, 900, 1200 และ 1500 มม. การโก่งตัวที่วัดด้วยเซ็นเซอร์เหล่านี้ เรียกว่า D0, D200, D300

โดยการทดสอบด้วยเครื่องมือ FWD การวางตำแหน่งของ Geophone ในการทดสอบเพื่อต้องการวัดพฤติกรรมการส่งถ่ายแรงจากการให้น้ำหนักบรรทุกทดสอบ โดยมีรายละเอียดของตำแหน่ง แสดงดังตารางที่ 2-15

ตารางที่ 2-15 ตำแหน่งของ Geophone เครื่องมือทดสอบ FWD

Geophone ตัวที่	ตำแหน่ง
1	ระยะ 0 มิลลิเมตร
2	ระยะ 200 มิลลิเมตร
3	ระยะ 300 มิลลิเมตร
4	ระยะ 450 มิลลิเมตร
5	ระยะ 600 มิลลิเมตร
6	ระยะ 900 มิลลิเมตร
7	ระยะ 1200 มิลลิเมตร
8	ระยะ 1500 มิลลิเมตร
9	ระยะ 1800 มิลลิเมตร

สำหรับกรณีของพื้นผิวทางคอนกรีต (Rigid Pavement) สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการถ่ายแรงที่ตำแหน่งรอยต่อ (Joint) ได้โดยกำหนดตำแหน่งของ Geophone ของเครื่องมือทดสอบให้คร่อมรอยต่อ (Joint) ของพื้นผิวทางคอนกรีต ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2-37 มาตรวัดแรง (Load Cell) ที่ติดตั้งบนแผ่นเหล็กมาตรฐานจะวัดแรงที่กระแทกบนแผ่นเหล็กมาตรฐานในขณะที่การยุบตัว (Deformation) ของพื้นผิวที่เกิดการกระแทกข้างต้นจะถูกวัดด้วย Geophones ที่ติดตั้งบนพื้นผิวในตำแหน่งที่ห่างจากแผ่นเหล็กมาตรฐานที่ระยะต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2-38



รูปที่ 2-37 ตัวอย่างการติดตั้ง Geophone บริเวณรอยต่อของผิวทางคอนกรีต

การสำรวจความแข็งแรงของโครงสร้างทางด้วยเครื่องมือสำรวจ Falling Weight Deflectometer (FWD) มีหลักการทำงานโดยการปล่อยตุ้มน้ำหนักตกกระแทกลงบนผิวทาง แล้วทำการวัดค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นและคำนวณย้อนกลับโดยค่าการแอ่นตัวนั้นเพื่อหาค่าโมดูลัสของวัสดุชั้นทางแต่ละชั้น ซึ่งค่าโมดูลัสเหล่านี้จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับใช้ในการคำนวณอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของถนนและสามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบการเสริมผิวทางต่อไปได้



รูปที่ 2-38 Falling Weight Deflectometer (FWD)

อย่างไรก็ตาม กรมทางหลวงชนบทมีเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดความแข็งแรงของโครงสร้างทางด้วยการทดสอบหาค่าการแอ่นตัวของถนนอยู่ 2 ชนิด คือ เครื่องมือ BMB และ FWD ซึ่งส่วนใหญ่การเก็บสำรวจข้อมูลการแอ่นตัวของถนน เจ้าหน้าที่กรมทางหลวงชนบทจะสำรวจและเก็บด้วย BMB เป็นหลัก แม้ว่าเครื่องมือทั้ง 2 ชนิด จะให้ค่าการแอ่นตัวของถนนเช่นเดียวกัน แต่ค่าที่ได้นั้นมีความแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากความแตกต่างกันของเครื่องมือและลักษณะการทดสอบ ด้วยเหตุนี้ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้งานได้จึงต้องแปลงค่าที่ได้จากการทดสอบด้วย BMB เป็นค่าเทียบเคียงกับที่ทดสอบด้วย FWD ด้วยสมการ

โดยที่ D_{BB} = 33.85 + 0.93748 (D_{FWD}) ; หน่วยการแอ่นตัวในสมการเป็น m

D_{BB} = ค่าการแอ่นตัวของผิวทางที่ทดสอบด้วย BMB

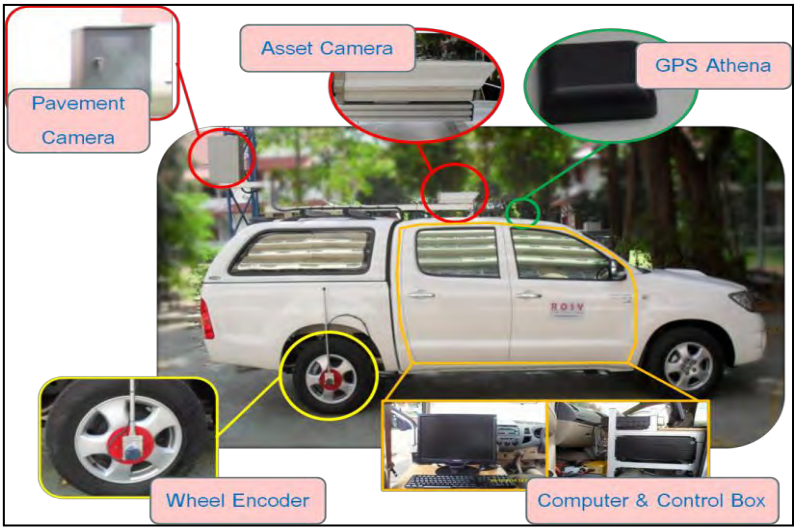
D_{FWD} = ค่าการแอ่นตัวของผิวทางที่ทดสอบด้วย FWD




รูปที่ 2-39 การตรวจวัดค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างทางด้วย BMB และ FWD

4) เครื่องมือสำหรับใช้ในการเก็บข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Pavement Distress)

สำหรับการการเก็บข้อมูลความเสียหายของผิวทาง จะใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกันกับการเก็บข้อมูล IRI ดังที่กล่าวไปในข้อ 1) ซึ่งจะใช้ Pavement camera ที่ติดตั้งตรงส่วนท้ายรถบรรทุกลักษณะความเสียหายเป็นรูปภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทาง



รูปที่ 2-40 รถสำรวจติดตั้งอุปกรณ์ Bump Integrator

2.1.4 ศึกษาระบบฐานข้อมูลที่มีอยู่ของกรมทางหลวง และฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ

1) ระบบข้อมูลทะเบียนสายทาง (HRIS)

เป็นระบบที่จัดเก็บฐานข้อมูลโครงข่ายทางหลวง หมายเลขทางหลวง และตอนควบคุม รวมทั้งข้อมูลที่ตั้งหน่วยงานสำนักทางหลวง แขวงทางหลวง และหมวดทางหลวง โดยมีการประยุกต์ใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศ (GIS) มาวิเคราะห์และแสดงผลบนแผนที่ดิจิทัล (Digital Mapping) โครงข่ายทางหลวงอย่างเป็นมาตรฐานสากล ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้ได้เปิดให้บริการและสนับสนุนข้อมูลแก่หน่วยงานอื่น ๆ ภายในกรมทางหลวง

2) ระบบสารสนเทศโครงข่าย (Roadnet)

สำนักบริหารบำรุงทาง เป็นระบบสารสนเทศที่ดำเนินการต่อยอดจากระบบฐานข้อมูลกลาง กรมทางหลวง (Central Road Database) โดยตระหนักถึงนโยบายและยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบงานทางให้มีประสิทธิภาพ และคำนึงถึงความสำคัญในการให้บริการข้อมูลด้านงานทางกรมทางหลวง ปัจจุบันระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) มีบทบาทในการจัดเก็บข้อมูลบัญชีสายทาง ข้อมูลลักษณะผิวทาง ข้อมูลโครงสร้างและกายภาพ ข้อมูลสำรวจสภาพทางต่าง ๆ ที่ได้มีการสำรวจโดยสำนักบริหารบำรุงทาง อันประกอบด้วย ข้อมูลดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index: IRI) ข้อมูลความลึกร่องล้อ (Rutting) ข้อมูลค่าความหยาบผิวทาง (Mean Profile Depth: MPD) ตลอดจนข้อมูลสภาพความเสียหายประเภทต่าง ๆ ที่ได้จากการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลบนภาพถ่ายผิวทาง และมีการแสดงผลข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทาง (Road Asset view) ในรูปแบบของข้อมูลเชิงพื้นที่ ทำให้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจสภาพทางมีความชัดเจนเพิ่มมากขึ้น โดยแสดงภาพถ่าย 2 ข้างทาง ข้อมูลค่าความเสียหาย และตำแหน่งบนระบบแผนที่ควบคู่หรือสัมพันธ์กัน รวมถึงข้อมูลตำแหน่งของสะพาน ท่อลอด และข้อมูลหลักกิโลเมตร ซึ่งสามารถแสดงผลข้อมูลบนแผนที่บนระบบเครือข่าย โดยมีตัวอย่างรูปภาพแสดงข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาจากฐานข้อมูล Roadnet แสดงดังรูปที่ 2-41 ถึง รูปที่ 2-42

survey_id	section_id	link_id	lane_group	lane_direction	lane_type	lane_no	year	date	km	iri	rutting	mpd	the_geom
1263720965	1069	33532380100R1	-1	ขวาทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	1000	2.63	1.34	1.27	0101000020E6100000AB3C2C5FCEF55840183E6B0912432B40
1263720965	1069	33532380100R1	-1	ขวาทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	2000	2.30	1.79	1.08	0101000020E6100000F5AD872954F55840319C2898D2402B40
1263720965	1069	33532380100R1	-1	ขวาทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	3000	2.22	1.39	1.30	0101000020E6100000BB6ED5CAC5F45840BAAED779E03F2B40
1263720965	1069	33532380100R1	-1	ขวาทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	4000	1.93	1.76	1.20	0101000020E6100000FBEE507852F4584072D19B27FF3D2B40
1263720965	1069	33532380100R1	-1	ขวาทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	5000	2.09	3.69	1.29	0101000020E6100000D93D93E52FF45840C4D631FC93392B40
1263720965	1069	33532380100R1	-1	ขวาทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	6000	2.68	4.40	1.31	0101000020E6100000FAE07F6702F45840F45C603141352B40
1263720965	1069	33532380100R1	-1	ขวาทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	7000	2.47	4.36	1.42	0101000020E610000062BC7D7D44F45840C82B0AB792312B40
1263720965	1069	33532380100R1	-1	ขวาทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	8000	2.28	2.84	1.74	0101000020E6100000000829FFC88F45840BE468563A92D2B40
1263720965	1069	33532380100R1	-1	ขวาทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	9000	2.73	2.42	1.69	0101000020E61000007FCAB844B1F45840F0B015C449292B40
1263720965	1069	33532380100R1	-1	ขวาทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	10000	3.16	1.79	1.80	0101000020E61000009609BFD4CFF45840801C2543DF242B40
1263720965	1069	33532380100R1	-1	ขวาทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	11000	2.10	0.63	1.69	0101000020E6100000333B3DBECDF45840BC80225F53202B40
1263720965	1069	33532380100R1	-1	ขวาทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	12000	2.96	1.23	1.59	0101000020E610000097539466CCAF45840AF35204AC71B2B40
1263720965	1069	33532380100R1	-1	ขวาทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	12259	7.39	1.86	1.62	0101000020E6100000B726DD96C8F4584045F12A6B9B1A2B40
1263720966	1069	33532380100L1	1	ซ้ายทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	4995	2.36	0.28	0.98	0101000020E6100006F47382D78F45840D481ACA7563F2B40
1263720966	1069	33532380100L1	1	ซ้ายทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	5000	1.32	1.12	1.12	0101000020E610000001AF0B5577F458400F5393F1543F2B40
1263720966	1069	33532380100L1	1	ซ้ายทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	6000	3.00	3.09	1.27	0101000020E610000046C1DBF33BF45840EDCB49E4973A2B40
1263720966	1069	33532380100L1	1	ซ้ายทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	7000	2.90	4.18	1.27	0101000020E6100000E46E5E3906F4584014E9FB3C6A352B40
1263720966	1069	33532380100L1	1	ซ้ายทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	8000	2.80	5.31	1.23	0101000020E6100000B50F77C455F4584059315CB706312B40
1263720966	1069	33532380100L1	1	ซ้ายทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	9000	2.20	2.33	1.86	0101000020E6100000C4394A0999F45840366332211B2C2B40
1263720966	1069	33532380100L1	1	ซ้ายทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	10000	2.16	1.94	1.71	0101000020E61000009A3DBBDAC9F458406A2CBF63E1262B40
1263720966	1069	33532380100L1	1	ซ้ายทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	11000	2.91	1.50	1.74	0101000020E61000004FD9D6C3D0F45840CFA856377B212B40
1263720966	1069	33532380100L1	1	ซ้ายทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	12000	3.13	2.32	1.87	0101000020E61000002B8FB061CCF458407B2C3E010A1C2B40
1263720967	11021	33500040301L1	1	ซ้ายทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	67334	1.56	2.18	1.26	0101000020E6100000437390465AFD58407E39B35DA1972B40
1263720967	11021	33500040301L1	1	ซ้ายทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	68000	2.09	1.23	1.38	0101000020E610000029E1093EFBFC5840FA9A4590B4962B40
1263720967	11021	33500040301L1	1	ซ้ายทาง	ทางหลัก	2	2019	2019-01-24	69000	1.72	1.64	1.50	0101000020E6100000938EA26784FC58405F2825FDE1932B40

รูปที่ 2-41 ข้อมูล ค่า IRI , rutting , MPD ในระบบฐานข้อมูล Roadnet

route	control	SectionRoadThName	km_start	km_end	length	amp_name	pro_name	grade	pave_width	shoulder_wid	shoulder_wid
1	101	อนุสาวรีย์หลักสี่ - สะพานใหม่	18100	19000	0.9	บางเขน	กรุงเทพมหานคร	1	3.35	1.25	1.25
1	101	อนุสาวรีย์หลักสี่ - สะพานใหม่	18378	18733	0.355	บางเขน	กรุงเทพมหานคร				
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	24700	25099	0.399	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	1	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	25099	25279	0.18	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	25279	25375	0.096	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	25375	25461	0.086	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	25461	25491	0.03	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	25491	25780	0.289	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	25780	25885	0.105	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	25885	26100	0.215	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	26100	26137	0.037	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	26137	26318	0.181	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	26318	27070	0.752	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	27067	27225		สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	27070	27272	0.202	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	27272	27505	0.233	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	27275	27290		สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	27297	27687		สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	27505	27572	0.067	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	102	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	27572	27710	0.138	สายไหม	กรุงเทพมหานคร	0	3.25	1.25	1.25
1	201	สนามกีฬาธูปะเตมีย์ - ต่างระดับคลองหลวง	27710	39000	11.29	คลองหลวง	ปทุมธานี	1+	3.5	2.5	2.5
1	202	ต่างระดับคลองหลวง - ประตูน้ำพระอินทร์	39000	47125	8.125	คลองหลวง	ปทุมธานี	1+	3.5	2	2
1	202	ต่างระดับคลองหลวง - ประตูน้ำพระอินทร์	40453	40453	1.462	คลองหลวง	ปทุมธานี				
1	202	ต่างระดับคลองหลวง - ประตูน้ำพระอินทร์	40453	45800	5.347	คลองหลวง	ปทุมธานี				
1	202	ต่างระดับคลองหลวง - ประตูน้ำพระอินทร์	40453	40453	0.175	คลองหลวง	ปทุมธานี				
1	202	ต่างระดับคลองหลวง - ประตูน้ำพระอินทร์	47125	51820	4.695	บางปะอิน	พระนครศรีอยุธยา	1+	3.5	2	2
1	301	ประตูน้ำพระอินทร์ - ต่างระดับบางปะอิน	51820	53000	1.18	บางปะอิน	พระนครศรีอยุธยา	1+	3.5	2.5	1.5
1	301	ประตูน้ำพระอินทร์ - ต่างระดับบางปะอิน	51820	53000	1.18	บางปะอิน	พระนครศรีอยุธยา	7	3	2	
1	301	ประตูน้ำพระอินทร์ - ต่างระดับบางปะอิน	53000	53680	0.68	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	7	3	2	
1	301	ประตูน้ำพระอินทร์ - ต่างระดับบางปะอิน	53000	53680	0.68	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	1+	3.5	2.5	1.5
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	53680	56170	2.49	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	7	3	2	
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	53680	56170	2.49	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	1+	3.5	2.5	1.5
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	56170	57500	1.33	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	7	3	2	
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	56170	57500	1.33	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	1+	3.5	2.5	1.5
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	57500	64500	7	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	1+	3.5	2.5	1.5
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	57500	64500	7	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	7	3	2	
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	57800	57800	0.382	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	0	6		
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	58150	58150		วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	0	3.5		
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	60950	60950	0.382	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	0	6		
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	64500	65676	1.176	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	1+	3.5	2.5	1.5
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	64500	65676	1.176	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	7	3	2	
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	64550	64550	0.382	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	0	6		
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	65676	67700	2.024	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	7	3	2	
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	65676	67700	2.024	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	1+	3.5	2.5	1.5
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	67700	72600	4.9	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	7	3	2	
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	67700	72600	4.9	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	1+	3.5	2.5	1.5
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	71200	71200		วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	0	3.5		
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	72600	79000	6.4	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	1+	3.5	2.5	1.5
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	72600	79000	6.4	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	7	3	2	
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	74550	74550		วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	0	3.5		
1	302	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	78850	78850	0.271	วังน้อย	พระนครศรีอยุธยา	0	6		
1	401	หนองแค - หินกอง	79000	80000	1	หนองแค	สระบุรี	1+	3.5	2.5	2.5
1	401	หนองแค - หินกอง	79000	80000	1	หนองแค	สระบุรี	7	3.5		
1	401	หนองแค - หินกอง	80000	85000	5	หนองแค	สระบุรี				
1	401	หนองแค - หินกอง	80000	80000	0.59	หนองแค	สระบุรี				

รูปที่ 2-42 ข้อมูล ผิวทาง โครงสร้างทางและกายภาพ ในระบบฐานข้อมูล Roadnet

3) ระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทาง (MIIS)

ปัจจุบัน ระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทาง (MIIS) มีบทบาทในการจัดเก็บข้อมูลบัญชีสายทาง ข้อมูลลักษณะผิวทาง ข้อมูลโครงสร้างและกายภาพ ข้อมูลสำรวจสภาพทางต่าง ๆ ที่ได้มีการสำรวจโดยสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทาง อันประกอบด้วย ข้อมูลดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index: IRI) ค่าการแอ่นตัวของถนน (FWD) และค่าความเสียดทานผิว (Skidding: μ) โดยมีตัวอย่างรูปภาพแสดงข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาจากฐานข้อมูล MIIS แสดงดังรูปที่ 2-43 ถึง รูปที่ 2-45

section_part_id	s_skid_id	km_start	km_end	ref_lane_id	ref_name_lane	friction_avg	budget_year	surveyed_date
11509	1239	80000	81000	1	L	0.1948	2563	23/6/20
11509	1473	79000	80000	1	L	0.50570000000000004	2563	23/6/20
11509	1239	79000	80000	1	L	0.34300000000000003	2563	23/6/20
11509	1239	78000	79000	1	L	0.29480000000000001	2563	23/6/20
11509	1239	77000	78000	1	L	0.25319999999999998	2563	23/6/20
11509	1473	78000	79000	1	L	0.42980000000000002	2563	23/6/20
11509	1473	77000	78000	1	L	0.41410000000000002	2563	23/6/20
11509	1473	76250	77000	1	L	0.32786666666667003	2563	23/6/20
11509	1239	76000	77000	1	L	0.25013333333332999	2563	23/6/20
1148	1241	1000	0	2	R	\N	2563	24/6/20
11509	1239	75000	76000	1	L	\N	2563	23/6/20
11509	1240	74000	73000	2	R	\N	2563	23/6/20
11509	1239	74000	75000	1	L	\N	2563	23/6/20
11509	1239	73000	74000	1	L	\N	2563	23/6/20
1148	1241	2000	1000	2	R	\N	2563	24/6/20
11509	1239	72000	73000	1	L	\N	2563	23/6/20
11509	1239	71429	72000	1	L	\N	2563	23/6/20
1148	1238	1000	0	2	R	\N	2563	18/9/20
1148	1238	2000	1000	2	R	\N	2563	18/9/20
1148	1238	3000	2000	2	R	\N	2563	18/9/20
1148	1238	4000	3000	2	R	\N	2563	18/9/20
1148	1238	5000	4000	2	R	\N	2563	18/9/20
11509	1474	80900	80000	2	R	0.43233333333333002	2563	23/6/20
1148	1238	6000	5000	2	R	\N	2563	18/9/20
1148	1238	7000	6000	2	R	\N	2563	18/9/20
1148	1238	8000	7000	2	R	0.31259999999999999	2563	18/9/20
1148	1238	9000	8000	2	R	0.34179999999999999	2563	18/9/20
1148	1238	10000	9000	2	R	\N	2563	18/9/20
11509	1472	77000	76250	2	R	0.40920000000000001	2563	16/9/20
1148	1238	10880	10000	2	R	\N	2563	18/9/20
11509	1240	75000	74000	2	R	\N	2563	23/6/20
11509	1472	78000	77000	2	R	0.34539999999999998	2563	16/9/20
1148	1241	3000	2000	2	R	\N	2563	24/6/20
11509	1472	79000	78000	2	R	0.3291	2563	16/9/20
11509	1237	72000	71429	2	R	\N	2563	16/9/20
11509	1237	73000	72000	2	R	\N	2563	16/9/20
11509	1240	76000	75000	2	R	\N	2563	23/6/20
1148	1241	4000	3000	2	R	\N	2563	24/6/20
1148	1241	7000	6000	2	R	\N	2563	24/6/20
11509	1237	74000	73000	2	R	\N	2563	16/9/20
1148	1241	10000	9000	2	R	\N	2563	24/6/20
11509	1237	75000	74000	2	R	\N	2563	16/9/20
11509	1237	76000	75000	2	R	\N	2563	16/9/20
11509	1237	77000	76000	2	R	0.40920000000000001	2563	16/9/20
11509	1240	77000	76000	2	R	\N	2563	23/6/20
11509	1240	79000	78000	2	R	\N	2563	23/6/20
11509	1472	81000	80000	2	R	0.40160000000000001	2563	16/9/20
11509	1237	78000	77000	2	R	0.34539999999999998	2563	16/9/20
1148	1241	5000	4000	2	R	\N	2563	24/6/20
11509	1237	79000	78000	2	R	0.3291	2563	16/9/20
11509	1472	80000	79000	2	R	0.35749999999999998	2563	16/9/20

รูปที่ 2-43 ข้อมูลค่าความเสียดทาน จากฐานข้อมูล MIIS

section_part_id	s_iri_id	km_start	km_end	ref_lane_i	ref_name_lane	iri	budget_year	surveyed_date
1882	21168	521000	520000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	520000	519000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	519000	518000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	518000	517000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	517000	516000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	516000	515000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	515000	514000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	514000	513000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	513000	512000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	512000	511000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	511000	510000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	510000	509000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	509000	508000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	508000	507000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	507000	506000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	506000	505000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	505000	504000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	504000	503000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	503000	502000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	502000	501000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	501000	500000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	500000	499000	2	R	\N	2563	7/1/20
1882	21168	499000	498000	2	R	2.865	2563	7/1/20
1882	21168	498000	497000	2	R	2.342	2563	7/1/20
1882	21168	497000	496000	2	R	3.601	2563	7/1/20
1882	21168	496000	495000	2	R	3.533	2563	7/1/20
1882	21168	495000	494000	2	R	2.786	2563	7/1/20
1882	21168	494000	493000	2	R	2.716	2563	7/1/20
1882	21168	493000	492000	2	R	2.97	2563	7/1/20
1882	21168	492000	491000	2	R	2.926	2563	7/1/20
1882	21168	491000	490000	2	R	2.315	2563	7/1/20
1882	21168	490000	489000	2	R	2.283	2563	7/1/20
1882	21168	489000	488000	2	R	2.692	2563	7/1/20
1882	21168	488000	487903	2	R	6.5	2563	7/1/20
1235	21169	550903	551000	1	L	2.06	2563	10/1/20
1235	21169	551000	552000	1	L	1.696	2563	10/1/20
1235	21169	552000	553000	1	L	2.709	2563	10/1/20
1235	21169	553000	554000	1	L	2.732	2563	10/1/20
1235	21169	554000	555000	1	L	2.8	2563	10/1/20
1235	21169	555000	556000	1	L	1.9	2563	10/1/20
1235	21169	556000	557000	1	L	2.151	2563	10/1/20
1235	21169	557000	558000	1	L	1.793	2563	10/1/20
1235	21169	558000	559000	1	L	1.734	2563	10/1/20
1235	21169	559000	560000	1	L	2.397	2563	10/1/20
1235	21169	560000	561000	1	L	4.119	2563	10/1/20
1235	21169	561000	562000	1	L	2.519	2563	10/1/20
1235	21169	562000	563000	1	L	2.488	2563	10/1/20
1235	21169	563000	564000	1	L	2.414	2563	10/1/20
1235	21169	564000	565000	1	L	2.059	2563	10/1/20
1235	21169	565000	566000	1	L	2.136	2563	10/1/20
1235	21169	566000	567000	1	L	2.383	2563	10/1/20

รูปที่ 2-44 ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระ จากฐานข้อมูล MIIS

id	budget_year	km_start	km_end	count_station	ref_surface_id	avg_thickness	avg_temperature	avg_deflection	std_deflection
1179	2563	244000	245000	5	2	100	39.6	0.32104	0.07113542
1180	2563	240000	241000	5	2	100	39	0.2732	0.114381336
1180	2563	241000	242000	5	2	100	39	0.35736	0.224241082
1180	2563	242000	243000	5	2	100	39	0.5037	0.30858908
1180	2563	243000	244000	5	2	100	39	0.51758	0.303370684
1180	2563	244000	245000	6	2	100	39	0.2469	0.071280937
1175	2563	27450	28000	3	2	50	32.4	0.240133333	0.026768887
1175	2563	28000	29000	5	2	50	32.4	0.16994	0.064281358
1228	2563	8900	9000	1	2	50	45.2	0.1025	0
1350	2564	4300	5000	4	2	50	50	0.101175	0.03181052
1536	2564	5200	6000	4	2	80	50	0.218225	0.078716469
1537	2564	7000	8000	8	2	140	50	0.190075	0.025835565
1537	2564	8000	9000	7	2	140	50	0.261014286	0.057687706
1537	2564	9000	10000	10	2	140	50	0.61672	0.344533736
1537	2564	10000	11000	4	2	140	50	0.3225	0.031721601
1537	2564	11000	12000	10	2	140	50	0.26327	0.12203892
1537	2564	12000	13000	9	2	140	50	0.253411111	0.120132296
1538	2564	7000	8000	8	2	140	50	0.223525	0.110041495
1538	2564	8000	9000	7	2	140	50	0.345514286	0.141532369
1538	2564	9000	10000	10	2	140	50	0.34993	0.173149268
1538	2564	10000	11000	4	2	140	50	0.381725	0.217687335
1538	2564	11000	12000	10	2	140	50	0.24785	0.070233472
1538	2564	12000	13000	9	2	140	50	0.233822222	0.071925339
1539	2564	14702	15000	3	2	140	50	0.556633333	0.073508254
1598	2564	47172	48000	4	2	30	45	0.742525	0.105828395
1472	2564	19200	20000	5	2	50	50	0.5063	0.290011172
1473	2564	19200	20000	4	2	50	50	0.549325	0.207295994
1480	2564	17500	18000	2	2	50	50	0.88015	0.022273864
1481	2564	17500	18000	2	2	50	50	0.74445	0.22111229
1482	2564	17500	18000	2	2	50	50	0.88015	0.022273864
1601	2564	47142	48000	4	2	30	45	0.315825	0.141600527
1605	2564	7572	8000	2	2	100	40.3	0.4706	0.037900923
1606	2564	7572	8000	2	2	100	40.3	0.3108	0.055720014
1607	2564	7572	8000	2	2	100	40.3	0.3108	0.055720014
1608	2564	7572	8000	2	2	100	40.3	0.4706	0.037900923
1609	2564	171657	172000	2	\N	130	44.5	0.2427	0.116248355
1169	2563	110100	111000	5	2	100	50.4	0.82576	0.547778936
1351	2564	0	1000	5	2	50	50	0.57464	0.17781778
1455	2564	200	1000	7	2	100	45	0.249614286	0.077473058
1464	2564	0	1000	10	2	50	50	0.19989	0.061904774
1464	2564	1000	2000	8	2	50	50	0.2644375	0.140994265
2085	2565	41010	42000	9	2	100	50	0.360733333	0.216421522

รูปที่ 2-45 ข้อมูลค่าการแอ่นตัวของถนน จากฐานข้อมูล MIIS

4) ระบบสารสนเทศอุบัติเหตุบนทางหลวง (HAIMS)

ปัจจุบัน ระบบสารสนเทศอุบัติเหตุบนทางหลวง (HAIMS) โดยสำนักอำนวยความปลอดภัย มีบทบาทในการจัดเก็บข้อมูล ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุ อันประกอบด้วย ข้อมูลจำนวนการเกิดอุบัติเหตุ และสาเหตุที่เกิดของอุบัติเหตุ โดยมีตัวอย่างรูปภาพแสดงข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาจากฐานข้อมูล HAIMS แสดงดังรูปที่ 2-46

csec_routename	road_spare_val	road_direction_val	cause_description
ต่างระดับคลองหลวง - ประตูน้ำพระอินทร์	ทางหลัก	ย้อนหลัก กม.	ฝ่าฝืนสัญญาณไฟ / เครื่องหมายจราจร
ต่างระดับคลองหลวง - ประตูน้ำพระอินทร์	ทางหลัก	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	ทางหลัก	ไปตามหลัก กม.	มีสิ่งกีดขวางบนทางหลวง (วัสดุหรือสัตว์)
ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	ทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	ทางหลัก	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	ทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	ทางหลัก	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	ทางหลัก	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
หนองแค - หินกอง	ทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
หนองแค - หินกอง	ทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
หินกอง - ปากข้าวสาร	ทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
แยกสวนพฤกษศาสตร์พุแค - แยกโรงเรียนสุธีวิทยา	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ฝ่าฝืนสัญญาณไฟ / เครื่องหมายจราจร
ดงจำปา - แยกร.พ.อานันทมหิดล	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
ดงจำปา - แยกร.พ.อานันทมหิดล	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
ลำพยนต์ - เกษตรชัย	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
ตาคลี - ดอนรังนก	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
ดอนรังนก - หางน้ำหนองแขม	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
ดอนรังนก - หางน้ำหนองแขม	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	อื่น ๆ
บ้านหว้า - วังไผ่	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ฝ่าฝืนสัญญาณไฟ / เครื่องหมายจราจร
บ้านหว้า - วังไผ่	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
บ้านหว้า - วังไผ่	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
โนนปอแดง - ปากดง	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
นครชุม - วังเจ้า	ทางหลัก	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
นครชุม - วังเจ้า	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	หลับใน
นครชุม - วังเจ้า	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	เบรคชำรุด
นครชุม - วังเจ้า	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	หลับใน
นครชุม - วังเจ้า	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
วังเจ้า - ตาก	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
วังเจ้า - ตาก	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	มีการตัดหน้าระยะกระชั้นชิด
วังเจ้า - ตาก	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
วังเจ้า - ตาก	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ฝ่าฝืนสัญญาณไฟ / เครื่องหมายจราจร
ตาก - วังม่วง	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
วังม่วง - แม่เชียงรายบน	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
วังม่วง - แม่เชียงรายบน	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	หลับใน
วังม่วง - แม่เชียงรายบน	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	เครื่องยนต์ขัดข้อง
วังม่วง - แม่เชียงรายบน	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
วังม่วง - แม่เชียงรายบน	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	หลับใน
วังม่วง - แม่เชียงรายบน	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
แม่เชียงรายบน - ดอนไชย	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
สามัคคี - บ้านหวด	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
สามัคคี - บ้านหวด	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
สามัคคี - บ้านหวด	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
แม่กา - แยกประดู่ชัย	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	เครื่องยนต์ขัดข้อง
แม่กา - แยกประดู่ชัย	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	มีการตัดหน้าระยะกระชั้นชิด
แม่กา - แยกประดู่ชัย	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
แม่กา - แยกประดู่ชัย	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
แม่กา - แยกประดู่ชัย	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	มีการตัดหน้าระยะกระชั้นชิด
แม่กา - แยกประดู่ชัย	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
แม่กา - แยกประดู่ชัย	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
พาน - ร่องขุ่น	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
พาน - ร่องขุ่น	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
ห้วยพลู - แม่ค่ำ	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ไปตามหลัก กม.	ขับรถเร็วเกินอัตราที่กำหนด
แม่ค่ำ - กลางสะพานแม่น้ำสาย(เขตแดนไทย/พม่า)	ทางหลวงทั่วไป ไม่มีทางขนาน	ย้อนหลัก กม.	หลับใน

รูปที่ 2-46 ข้อมูล รายละเอียดอุบัติเหตุ จากฐานข้อมูล HAIMS

5) ระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS)

ปัจจุบัน ระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS) โดยสำนักบริหารและบำรุงทาง มีบทบาทในการจัดเก็บข้อมูล อันประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณจราจร และข้อมูลชนิดยานพาหนะ โดยมีตัวอย่างรูปภาพแสดงข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาจากฐานข้อมูล TIMS แสดงดังรูปที่ 2-47

depot_code	dep_name	dis_name	divi_name	name	length	length_to2	veh_1
41102	หมวดทางหลวงพลับลี่	ขท.กรุงเทพ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	อนสาวรีย์พลับลี่ - สะพานใหม่	0.9	4.855	49
41107	หมวดทางหลวงลำลูกกา	ขท.กรุงเทพ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	แยก คปอ. - สนามกีฬาธูปะเตมีย์	3.01	12.129	49
41602	หมวดทางหลวงรังสิต	ขท.ปทุมธานี	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	สนามกีฬาธูปะเตมีย์ - ต่างระดับคลองหลวง	11.29	56.45	182
41601	หมวดทางหลวงนวนคร	ขท.ปทุมธานี	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	ต่างระดับคลองหลวง - ประตูน้ำพระอินทร์	12.82	67.031	48
41303	หมวดทางหลวงบางปะอิน	ขท.อยุธยา	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	ประตูน้ำพระอินทร์ - ต่างระดับบางปะอิน	1.86	9.3	\N
41305	หมวดทางหลวงวังน้อย	ขท.อยุธยา	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	ต่างระดับบางปะอิน - หนองแค	25.32	129.858	\N
43204	หมวดทางหลวงหินกอง	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	หนองแค - หินกอง	16	94.11	19
43203	หมวดทางหลวงหนองแค	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	หินกอง - ปากข้าวสาร	8	48.66	19
43201	หมวดทางหลวงเฉลิมพระเกียรติ (สระบุรี)	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	ปากข้าวสาร - แยกสวนพฤกษศาสตร์พุแค - แยกโรงเรียนสุธิวิทยา	20.746	85.849	25
43205	หมวดทางหลวงพระพุทธบาท	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	แยกสวนพฤกษศาสตร์พุแค - แยกโรงเรียนสุธิวิทยา	13.719	47.877	95
43102	หมวดทางหลวงโคกตูม	ขท.สพบุรีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	แยกโรงเรียนสุธิวิทยา - ดงจำปา	9.8	25.95	141
43101	หมวดทางหลวงสพบุรี	ขท.สพบุรีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	ดงจำปา - แยกร.พ.อานันทมหิดล	12.363	36.566	141
43103	หมวดทางหลวงเขาพระงาม	ขท.สพบุรีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	แยก ร.พ.อานันทมหิดล - โคกสำโรง	28.862	62.156	25
43105	หมวดทางหลวงโคกสำโรง	ขท.สพบุรีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	โคกสำโรง - หนองม่วง	18.431	35.374	7
43106	หมวดทางหลวงหนองม่วง	ขท.สพบุรีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	หนองม่วง - ลำพยนต์	11.498	22.477	7
43802	หมวดทางหลวงลำพยนต์	ขท.นครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	ลำพยนต์ - เกษตรชัย	14.162	26.709	9
43801	หมวดทางหลวงสุขสำราญ	ขท.นครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	เกษตรชัย - ตาคลี	20.73	43.067	1
43803	หมวดทางหลวงตาคลี	ขท.นครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	ตาคลี - ดอนรังนก	9.522	29.126	10
44601	หมวดทางหลวงชัยนาท	ขท.ชัยนาท	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	ดอนรังนก - หางน้ำหนองแขม	42.745	141.869	7
43703	หมวดทางหลวงพยุหะคีรี	ขท.นครสวรรค์ที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	หางน้ำหนองแขม - บ้านหว้า	23.998	100.526	0
43701	หมวดทางหลวงนครสวรรค์ที่ 1	ขท.นครสวรรค์ที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	บ้านหว้า - วังไผ่	17	60.286	100
43705	หมวดทางหลวงบ้านแดน	ขท.นครสวรรค์ที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	วังไผ่ -โนนปอแดง	39.6	89.972	23
51705	หมวดทางหลวงคลองขลุง	ขท.กำแพงเพชร	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	โนนปอแดง - ปากดง	52.4	109.6	13
51701	หมวดทางหลวงนครชุม	ขท.กำแพงเพชร	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	ปากดง - นครชุม	19.843	51.566	57
51702	หมวดทางหลวงโกสัมพีนคร	ขท.กำแพงเพชร	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	นครชุม - วังเจ้า	34.212	70.428	6
51201	หมวดทางหลวงหนองบัวโด่	ขท.ตากที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	วังเจ้า - ตาก	32.31	90.869	13
51203	หมวดทางหลวงวังประจบ	ขท.ตากที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	ตาก - วังม่วง	8.676	23.245	27
51204	หมวดทางหลวงแม่สลัด	ขท.ตากที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	วังม่วง - แม่เชียงรายบน	49.644	103.978	27
52305	หมวดทางหลวงแม่พริก	ขท.ลำปางที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	แม่เชียงรายบน - ดอนไชย	33.815	67.63	3
52304	หมวดทางหลวงเถิน	ขท.ลำปางที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	ดอนไชย - สบปราบ	23.541	53.078	49
52303	หมวดทางหลวงสบปราบ	ขท.ลำปางที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	สบปราบ - เกาะคา	50.614	110.514	37
52306	หมวดทางหลวงชมพู	ขท.ลำปางที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	เกาะคา - สามัคคี	19.162	57.789	3
52801	หมวดทางหลวงบ้านเสด็จ	ขท.ลำปางที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	สามัคคี - บ้านหวด	66.224	134.658	484
52804	หมวดทางหลวงงาว	ขท.ลำปางที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	บ้านหวด - แม่กา	38.16	80.49	414
53501	หมวดทางหลวงพะเยา	ขท.พะเยา	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	แม่กา - แยกประตูชัย	24.84	51.622	39
53502	หมวดทางหลวงแม่ใจ	ขท.พะเยา	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	แยกประตูชัย - พาน	50.753	101.506	17
53303	หมวดทางหลวงแม่สาว	ขท.เชียงรายที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	พาน - ร่องขุ่น	28.664	60.559	284
53302	หมวดทางหลวงห้วยลัก	ขท.เชียงรายที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	ร่องขุ่น - แยกแม่กรณ์	10.083	20.608	664
53301	หมวดทางหลวงเชียงราย	ขท.เชียงรายที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	แยกแม่กรณ์ - ห้วยพลู	18.883	55.323	43
53304	หมวดทางหลวงแม่จัน	ขท.เชียงรายที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	ห้วยพลู - แม่ค่า	24	49.881	84
53305	หมวดทางหลวงแม่สาย	ขท.เชียงรายที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	แม่ค่า - กลางสะพานแม่น้ำสาย(เขตแดนไทย/พม่า)	22.749	51.62	84
43202	หมวดทางหลวงสระบุรี	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	สระบุรี - ตาลเตี้ยว	8.1	48.95	250
43206	หมวดทางหลวงแก่งคอย	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	ตาลเตี้ยว - ขุนบอน	16.6	95.596	250
43207	หมวดทางหลวงมวกเหล็ก	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (สพบุรี)	ขุนบอน - มวกเหล็ก	11.072	50.302	54
61207	หมวดทางหลวงกลางดง	ขท.นครราชสีมาที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	มวกเหล็ก - ปอทอง	36.243	116.354	0
61205	หมวดทางหลวงปากช่องที่ 1	ขท.นครราชสีมาที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	ปอทอง - มอจะบก	28.947	86.841	28
61204	หมวดทางหลวงสีคิ้ว	ขท.นครราชสีมาที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	มอจะบก - ไร่โคกสูง	9.4	37.6	4
61202	หมวดทางหลวงสูงเนิน	ขท.นครราชสีมาที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	ไร่โคกสูง - โคกกรวด	19.6	85.577	15
61201	หมวดทางหลวงนครราชสีมาที่2	ขท.นครราชสีมาที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	โคกกรวด - นครราชสีมา	18.603	87.85	46
61102	หมวดทางหลวงนครราชสีมาที่1	ขท.นครราชสีมาที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	นครราชสีมา - ดอนหวาย	25.847	69.112	7
61105	หมวดทางหลวงโนนสูง	ขท.นครราชสีมาที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	ดอนหวาย - บ้านวัด	33	66.292	8
61103	หมวดทางหลวงโนนแดง	ขท.นครราชสีมาที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	บ้านวัด - ตาลาด	16.5	34.488	8
61106	หมวดทางหลวงสีดา	ขท.นครราชสีมาที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	ตาลาด - หนองแวงโสกพระ	27.387	54.774	8
62801	หมวดทางหลวงพล	ขท.ขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่)	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	หนองแวงโสกพระ - พล	15.701	32.028	8
62801	หมวดทางหลวงพล	ขท.ขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่)	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	พล - บ้านไผ่	28.5	59.23	3
62805	หมวดทางหลวงบ้านแฮด	ขท.ขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่)	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	บ้านไผ่ - ท่าพระ	32.271	64.542	3

รูปที่ 2-47 ข้อมูลปริมาณการจราจรแยกตามชนิดยานพาหนะ จากฐานข้อมูล TIMS

6) ระบบบริหารแผนงานทางหลวง (PLANET)

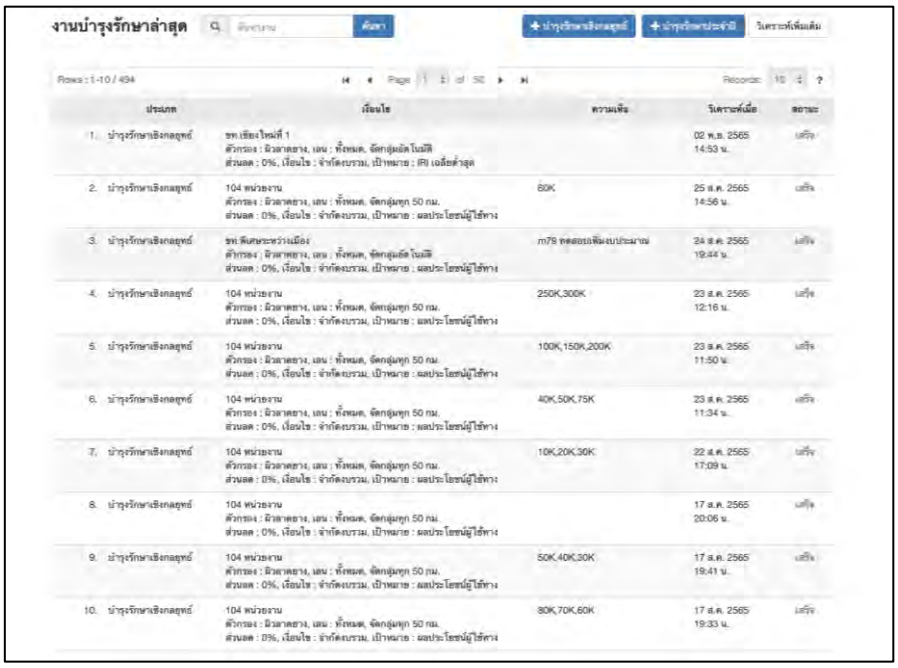
ปัจจุบัน ระบบบริหารแผนงานทางหลวง (PLANET) โดยสำนักบริหารบำรุงทาง มีบทบาทในการจัดเก็บข้อมูล อันประกอบด้วย ข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุง เป็นต้น โดยมีตัวอย่างรูปภาพแสดงข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาจากฐานข้อมูล PLANET แสดงดังรูปที่ 2-48

gid	budget_year	district_code	road_code	section_code	plan_code	plan_detail	direction	km_start	km_end
29052109	2563	321	4141	100	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน	-	520	1737
29050525	2563	311	4	1403	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน	LT+RT	1258642	1259275
29050526	2563	311	43	100	24100	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์	RT	6300	7206
29050527	2563	311	408	202	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		151710	153061
29050528	2563	311	414	102	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์	LT	5615	8130
29050529	2563	311	414	102	23300	งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมนำกลับมาใช้ใหม่		11940	15175
29050530	2563	311	4287	101	24100	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์	LT+RT	4269	5420
29050599	2563	311	4	1403	31100	งานเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง	-	1259400	1266720
29050683	2563	312	410	202	24100	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์		91720	93270
29050686	2563	312	410	203	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		123543	127040
29050687	2563	312	410	203	24100	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์		150500	154620
29050689	2563	312	410	203	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		144260	150500
29050690	2563	312	410	203	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		146200	147550
29050691	2563	312	4063	100	22100	งานฉาบผิวแอสฟัลต์		7200	9400
29050692	2563	312	4070	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		18500	24590
29050693	2563	312	4077	102	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		26200	29190
29050694	2563	312	4082	100	24100	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์		100	5045
29050696	2563	312	4176	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		3000	7527
29050698	2563	312	4326	100	24100	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์		675	1000
29050699	2563	312	4363	100	22100	งานฉาบผิวแอสฟัลต์		1812	11058
29052727	2563	323	4	1101	31300	งานเครื่องหมายนำทาง	-	950000	964000
29052728	2563	323	4	1102	31800	งานปรับปรุงทางหลวง		1000117	1000482
29052738	2563	323	4156	100	31100	งานเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง	-	1000	6829
29052739	2563	323	4156	100	31100	งานเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง	-	13000	16300
29050958	2563	313	42	201	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		69759	73032
29050964	2563	313	42	204	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		142786	145200
29050969	2563	313	409	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		2367	4720
29050970	2563	313	409	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์	LT+RT	17341	18013
29050972	2563	313	4060	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		1525	4205
29050973	2563	313	4060	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์	LT+RT	4402	5545
29050974	2563	313	4061	101	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		100	2178
29050975	2563	313	4061	101	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		12570	14663
29050976	2563	313	4061	102	25200	งานขยายทางจราจร		30174	31310
29050977	2563	313	4071	200	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		22427	24122
29050978	2563	313	4071	200	23200	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์		15445	17926
29050979	2563	313	4074	100	25200	งานขยายทางจราจร		2255	3535
29050981	2563	313	4157	102	25200	งานขยายทางจราจร		17950	19195
29050982	2563	313	4336	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		0	470
29050983	2563	313	4337	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		0	1355
29051107	2563	313	42	201	31300	งานเครื่องหมายนำทาง		78700	87681
29051130	2563	313	409	100	31300	งานเครื่องหมายนำทาง		213	17097
29051158	2563	313	4061	102	31300	งานเครื่องหมายนำทาง		31310	35900
29051161	2563	313	4074	100	31300	งานเครื่องหมายนำทาง		0	2255
29051236	2563	314	4	1301	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		1145200	1148500
29051237	2563	314	4	1302	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์	LT+RT	1169700	1171000
29051238	2563	314	4	1302	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์	LT	1171600	1172917
29051239	2563	314	4	1302	24100	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์	RT	1176340	1177200
29051241	2563	314	4	1302	23200	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์	LT	1173000	1174500
29051245	2563	314	4122	102	23200	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์		39400	41450
29051247	2563	314	4122	102	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		32400	59500
29051322	2563	314	4	1302	31300	งานเครื่องหมายนำทาง	-	1163800	1166350

รูปที่ 2-48 ข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุง จากฐานข้อมูล PLANET

7) โปรแกรมบริหารงานบำรุงทาง (TPMS)

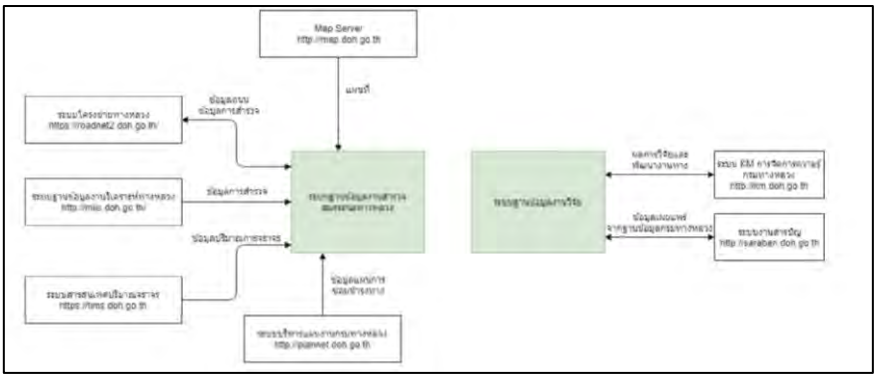
ปัจจุบัน โปรแกรมบริหารงานบำรุงทาง โดยสำนักบริหารและบำรุงทาง มีบทบาทในการจัดเก็บข้อมูลในส่วนของ แบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง และ แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง โดยมีตัวอย่างรูปภาพ ข้อมูลที่เก็บอยู่ในโปรแกรมบริหารงานบำรุงทาง (TPMS) แสดงดังรูปที่ 2-49



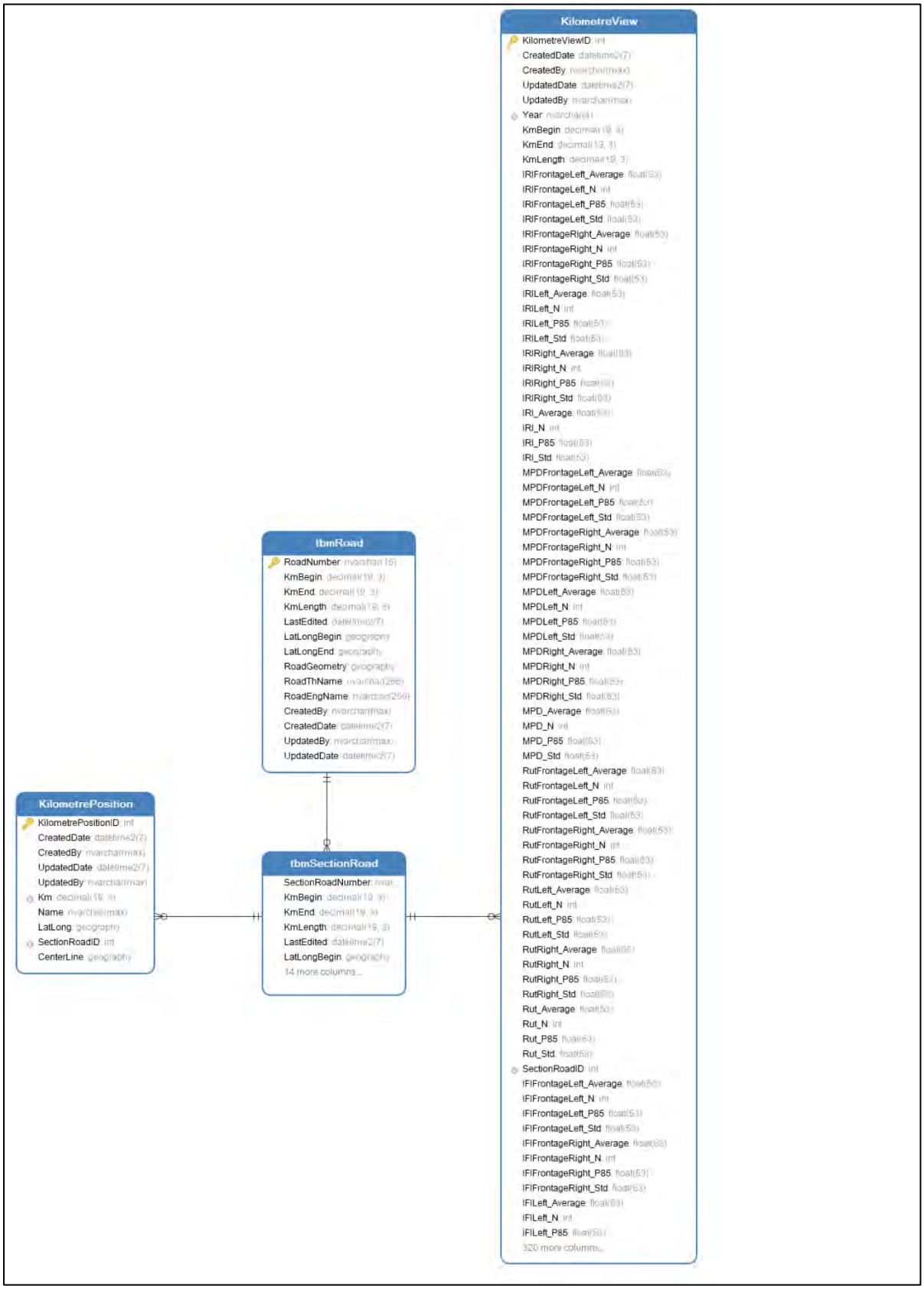
รูปที่ 2-49 ข้อมูลแบบจำลอง จากฐานข้อมูล TPMS

8) ระบบฐานข้อมูลสมรรถนะทางหลวง (IPAVEs)

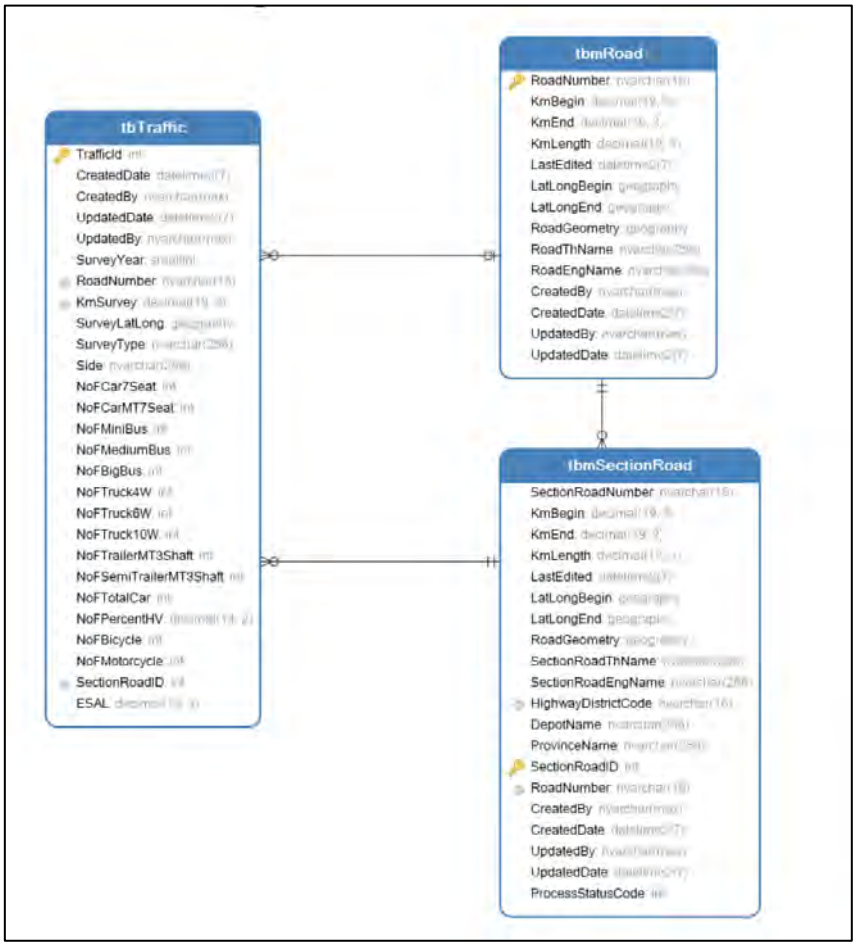
ระบบฐานข้อมูลสมรรถนะทางหลวง โดยสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง มีการใช้เพื่อรวบรวมและเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล โดยมีรายละเอียดแสดงดังรูปที่ 2-50 โดยเก็บข้อมูลการแอ่นตัวของถนน ค่าดัชนีความขรุขระ เป็นต้น



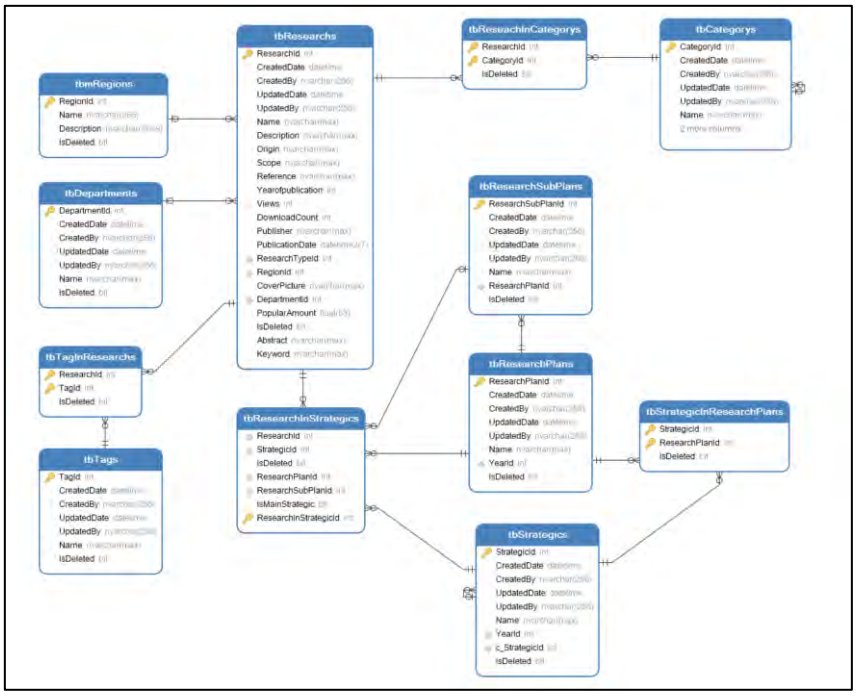
รูปที่ 2-50 แผนภูมิแสดงการเชื่อมโยงฐานข้อมูลกับระบบอื่นๆและที่ปรึกษาได้ทำการศึกษา ER diagram ของฐานข้อมูล IPAVEs



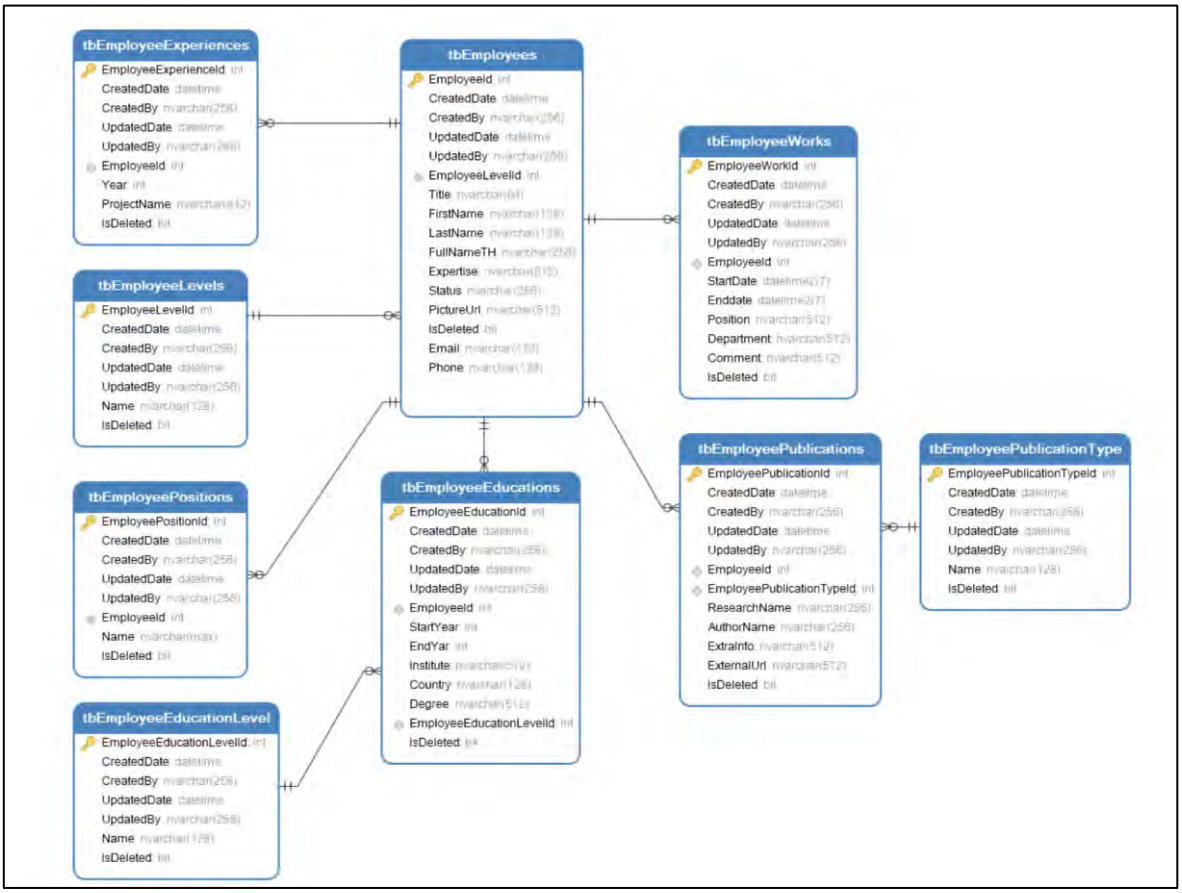
รูปที่ 2-51 แผนผัง ER diagram สำหรับการ query ข้อมูล



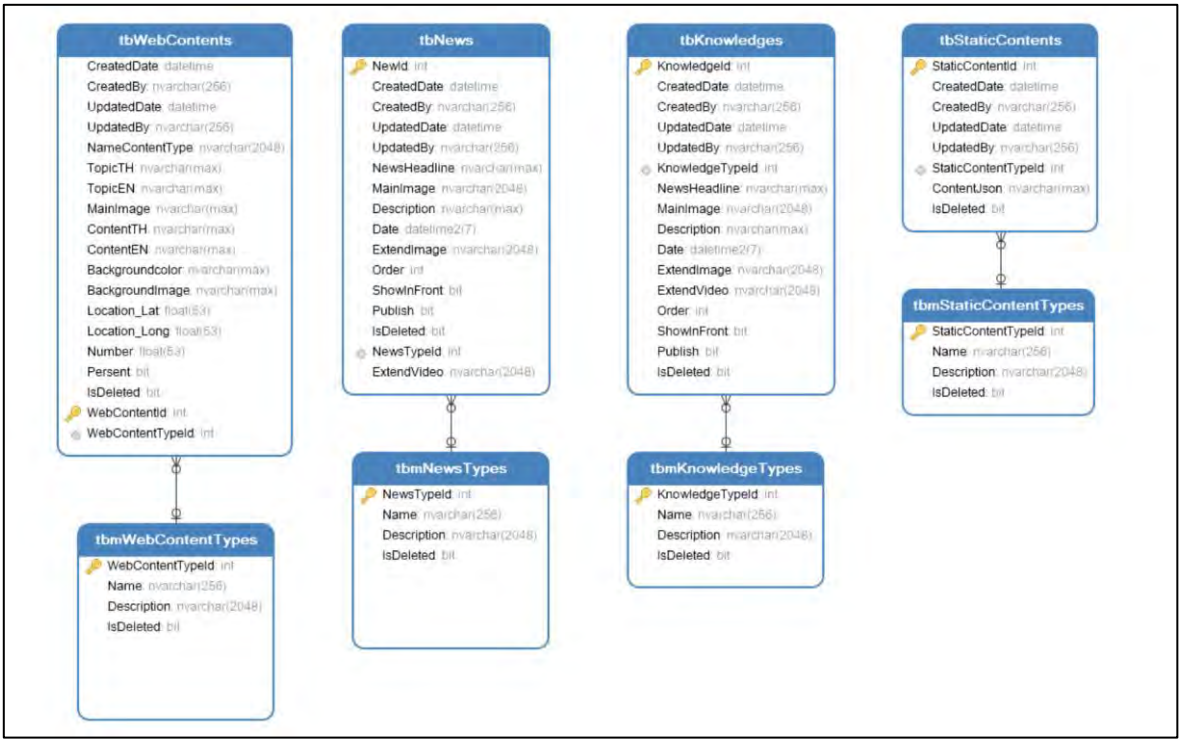
รูปที่ 2-52 แผนผัง ER diagram สำหรับข้อมูลจราจร



รูปที่ 2-53 แผนผัง ER diagram สำหรับฐานข้อมูลงานวิจัย



รูปที่ 2-54 แผนผัง ER diagram สำหรับฐานข้อมูลบุคลากร



รูปที่ 2-55 แผนผัง ER diagram สำหรับฐานข้อมูลแสดงข้อมูลบนหน้าเว็บ

2.1.5 ศึกษาวิธีการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนนจากหน่วยงานหรือองค์กรทั้งใน และหรือต่างประเทศ

จากการศึกษาในหน่วยงานในประเทศและต่างประเทศ สามารถสรุปออกมาได้ออกมาเป็น 2 หัวข้อใหญ่ คือ แบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง และ แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง

1) แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง

จากการศึกษาพบว่าสามารถแบ่งออกเป็น 4 หมวดหมู่หลักตามการศึกษาดัชนีชี้วัดทั้ง 4 ด้านได้ ดังนี้

2) แบบจำลองการเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทาง

แบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทาง ใช้ค่าดัชนีความขรุขระสากลเป็นดัชนีชี้วัดสภาพความขรุขระผิวทาง โดยในแบบจำลองต้นแบบของ HDM-4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความขรุขระผิวทาง ได้แก่ ความแข็งแรงโครงสร้าง ปริมาณการจราจร ความเสียหายผิวทาง และสภาพแวดล้อม ซึ่ง Roadnet ได้ปรับแก้แบบจำลองให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่าย โดยไม่พิจารณาผลกระทบของความเสียหายผิวทาง (รอยแตก รอยร่องล้อ หลุมบ่อ) ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ในการทำนายการเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทาง แต่ใช้อายุการใช้งานของผิวทางเป็นตัวแทนผลกระทบของความเสียหายผิวทางที่มีต่อความขรุขระผิวทาง ดังนี้

โดย $dIRI = Kgp*(a0*Exp(Kgm*m*AGE3)*[(1 + SNC*a1)]^{-5} *YE4 + a2*AGE3) + (Kgm*m*RIa)$ (2-1)

- AGE3 = อายุสายทางตั้งแต่มีการเสริมผิว การบูรณะ หรือ การก่อสร้างใหม่ (ปี)
- RIa = ค่าความขรุขระสากลเมื่อต้นปีที่สนใจ (ม./กม.)
- m = ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม แสดงดังตารางที่ 2-16 *(อ้างอิง HDM-4 Volume 6 ตาราง B10-3)*
- a0 = 134 ซึ่งเป็นค่าคงที่ของสมการ HDM-4 *(อ้างอิง HDM-4 Volume 6 ตาราง B10-5)*
- a1 = 0.755 ซึ่งเป็นค่าคงที่เพื่อลดค่าความแข็งแรงโครงสร้างทางเนื่องจากผลกระทบของความเสียหายผิวทางที่มีต่อการเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทาง
- a2 = 0.0121 ซึ่งเป็นค่าคงที่เพื่อปรับอัตราการเสื่อมสภาพเนื่องจากผลกระทบของความเสียหายผิวทางที่มีต่อการเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทาง
- SNC = ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างทางตั้งแต่มีการก่อสร้าง การเสริมผิว การบูรณะ หรือ การก่อสร้างใหม่ ครั้งล่าสุด (ASSHTO)
- YE4 = annual number of equivalent standard axles (ล้าน ESAL/ช่องทางจราจร/ปี)
- Kgp = ค่าปรับแก้อัตราการเสื่อมสภาพของความขรุขระผิวทาง
- Kgm = ค่าปรับแก้ของค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม *(อ้างอิง HDM-4, Volume 5, P. 93-96)*

ตารางที่ 2-16 ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม, m

ระดับความชื้น	ระดับอุณหภูมิ				
	Tropical	Sub-tropical Hot	Sub-tropical cool	Temperate cool	Temperate Freeze
Arid	0.005	0.010	0.015	0.020	0.030
Semi-Arid	0.010	0.015	0.020	0.030	0.040
Sub-Humid	0.020	0.025	0.030	0.040	0.050
Humid	0.025	0.030	0.040	0.050	0.060
Pre-Humid	0.030	0.040	0.050		

SNC (Structural Number Modified) คือ ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างทางตั้งแต่มีการก่อสร้าง, Overlay, Reconstruction, Rehabilitation ครั้งล่าสุด (ASSHTO) คำนวณได้จาก

$$SNC = SN + 3.51 (\log_{10} CBRs) - 0.85 (\log_{10} CBRs)2 - 1.43 \quad (2\text{-}2)$$

เมื่อ $SN = \sum_{i=1}^{n} (a_i h_i)$

SN = ค่าความแข็งแรงของทาง

n = จำนวนชั้นทาง

ai = ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของแต่ละชั้นทาง

hi = ความหนาของแต่ละชั้นทาง

CBRs = ค่า CBR ภาคสนามของชั้นดินเดิม

เนื่องจากมีข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับคำนวณหาค่าความแข็งแรงโครงสร้างโดยตรง ดังสมการที่ 2 จึงใช้การคาดการณ์ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างทาง จากการทดสอบค่าการแอ่นตัวของชั้นทางซึ่งกระทำโดยการทดสอบด้วย Benkelman Beam หรือ Falling Weight Deflectometer และนำค่าจากการทดสอบมาคำนวณ ดังนั้นสามารถหาค่า SNC ได้จากสมการของ Paterson (1987) ดังนี้

$SNC = 3.2\ DEF^{-0.63}$ granular bases

$SNC = 2.2\ DEF^{-0.63}$ cement bases

โดย DEF = ค่าการแอ่นตัวจากการวัดด้วยเครื่องมือ Benkelman Beam หรือ Falling Weight Deflectometer (มม.)

ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลค่าการแอ่นตัวจากการวัดด้วยเครื่องมือ Benkelman Beam หรือ Falling Weight Deflectometer ให้พิจารณาใช้ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างตามโครงสร้างชั้นทางจากการออกแบบเพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักจากปริมาณการจราจรได้ โดยจำแนกตามปริมาณการจราจรดัง แสดงดังตารางที่ 2-17

ตารางที่ 2-17 ค่าความแข็งแรงโครงสร้างค่าดการณ์จากประเภทชั้นทาง

ประเภทชั้นทาง	AADT	ความหนาผิวทาง (cm)	ความหนาพื้นทาง (cm)	ความหนารองพื้นทาง (cm)	ชั้น Select A (cm)	SNC
พิเศษ	>10,000	10	30	30	30	6.38
1	5,000 - 10,000	10	25	30	30	5.49
2	2,500 - 5,000	10	20	30	30	5.04
3	1,000 - 2,500	5	25	30	30	4.55
4	<= 1,000	5	20	30	30	3.50

การนำแบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทางมาใช้ ต้องมีการปรับแก้ก่อนการนำมาใช้งาน เนื่องจากในโครงการนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทางที่ Roadnet พัฒนาไว้มาปรับแก้เพื่อให้สามารถใช้พยากรณ์สภาพผิวทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เดิมแบบจำลองนี้สร้างโดยใช้ข้อมูลจากประเทศกำลังพัฒนาและประเทศที่พัฒนาแล้ว ดังนั้น ผลลัพธ์ของแบบจำลองจึงเป็นลักษณะกว้าง ๆ สามารถนำไปใช้งานโดยมีความถูกต้องระดับหนึ่ง ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความถูกต้องและลักษณะข้อมูลของประเทศนั้น ๆ ทางคณะที่ปรึกษาจึงปรับแก้แบบจำลองโดยการปรับแก้ค่า Kgp ซึ่งเป็นค่าปรับแก้อัตราการเสื่อมสภาพของความขรุขระผิวทาง และค่า a2 ซึ่งเป็นค่าปรับแก้เพื่อลดค่าความแข็งแรงโครงสร้างทางเนื่องจากผลกระทบของความเสียหายผิวทางที่มีต่อการเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทาง โดยเลือกค่า Kgp และ a2 ที่ทำให้กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า IRI จริงกับค่า IRI ที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง มีสมการเป็น y = mx กล่าวคือ มีความชันเข้าใกล้ 45 องศา ซึ่งแสดงว่าค่าที่ได้จากการทำนาย มีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าในความเป็นจริงมากที่สุด

การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง สามารถทำได้โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจริงที่สำรวจหน้างานกับค่าดัชนีความขรุขระสากลที่ได้จากการทำนาย ยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ต่อกันสูง โดยใช้สมการนี้ในการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

$R^2 = 1 - \frac{\sum(Y}{\sum(}$ $\frac{\sum(Y}{\sum(}$ $(\Sigma(Yest_i - Yobs_i)^2 / \Sigma(Yobs_i - Ym)^2)$ (2-3)

โดยที่ R^2 = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

$Yest_i$ = ค่าดัชนีความขรุขระสากลที่พยากรณ์ได้โดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

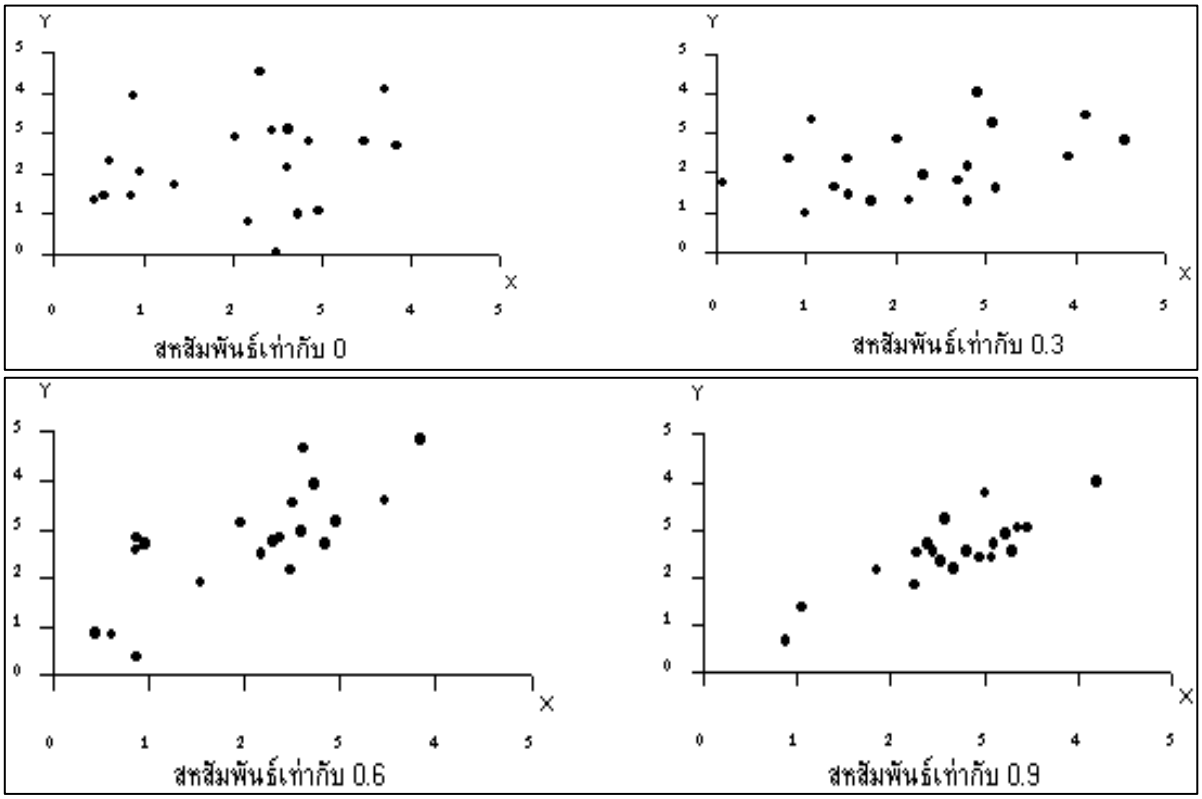
$Yobs_i$ = ค่าดัชนีความขรุขระสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมจริง

Ym = ค่าเฉลี่ยความขรุขระสากลที่สำรวจและเก็บรวบรวมจริง

การหาค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ใช้สัญลักษณ์ R2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรเป็นไปในทิศทางเดียวกันและความใกล้เคียงเท่าไร โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 แสดงรูปที่ 2-56

- ถ้า R^2 มีค่าสูง แสดงว่า การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีความใกล้เคียงกันมาก มีความสัมพันธ์กันสูง
- ถ้า R^2 มีค่าต่ำ แสดงว่า การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรมีความใกล้เคียงกันน้อย มีความสัมพันธ์กันต่ำ
- ถ้า R^2 มีค่าเป็น 0 แสดงว่า ตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

การวิเคราะห์แบบจำลองที่พัฒนาว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด สามารถดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) แบบจำลองยิ่งที่มีค่า R^2 ใกล้ 1 แสดงว่าผลที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองกับสภาพหน้างานจริงมีความสัมพันธ์ต่อกันมาก สามารถพยากรณ์ค่าความขรุขระสากลได้ใกล้เคียงความเป็นจริง



รูปที่ 2-56 การกระจายของข้อมูล 4 ชุดที่มีค่ากลางและการกระจายเหมือนกันแต่ระดับความสัมพันธ์ต่างกัน

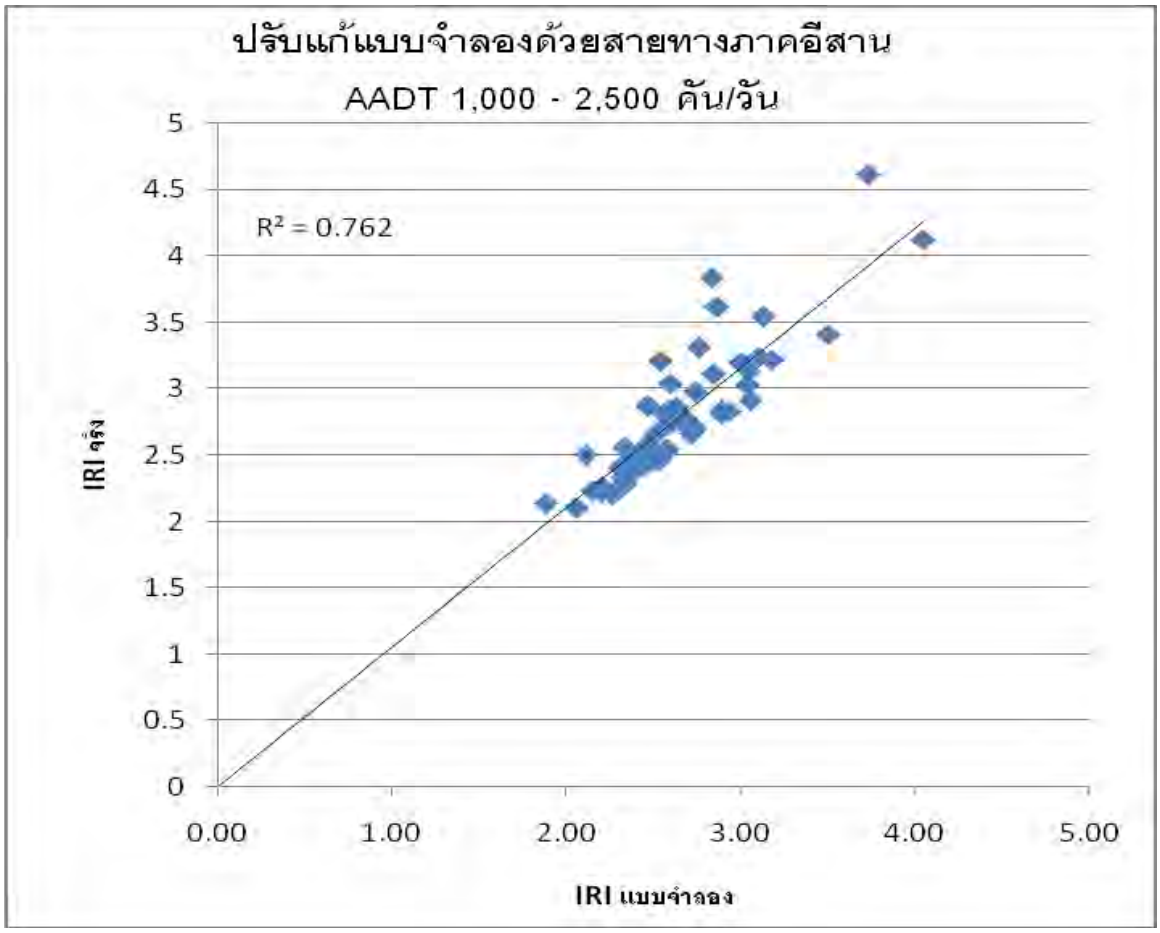
จากตารางที่ 2-17 และรูปที่ 2-56 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบระหว่างค่า IRI จริง กับค่า IRI ที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง ของสายทางที่อยู่ในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดปี 1,000 - 2,500 คัน/วัน โดยใช้ค่า Kgp = 1.83 และค่า a2 = 0.0121 ซึ่งทำให้กราฟมีความชันเท่ากับ 1

ตารางที่ 2-18 ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่า IRI สายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (AADT 1,000-2,500)

หมายเลขทาง	ตอนควบคุม	CWAY_NUM	กม.1	กม.2	AADT	SNC	RIa	IRI (จริง)	IRI (Model)
0212	0500	0	136+000	137+000	2460	4.89	2.91	3.03	3.04
0212	0500	0	138+000	139+000	2460	4.73	2.64	2.97	2.75
0212	0500	0	139+000	140+000	2460	4.88	2.76	3.61	2.87
0212	0500	0	140+000	141+000	2460	4.59	3.56	4.61	3.73
0212	0500	0	141+000	142+000	2460	4.30	2.96	3.24	3.11
0212	0500	0	142+000	143+000	2460	5.47	2.79	2.81	2.89
0212	0500	0	143+000	144+000	2460	6.36	2.49	2.54	2.58
0212	0500	0	144+000	145+000	2460	6.12	2.45	2.48	2.54
0212	0500	0	152+000	153+000	2460	4.73	2.91	3.13	3.05
0222	0300	0	72+000	73+000	2185	4.31	2.11	2.26	2.21
0222	0300	0	75+000	76+000	2185	4.64	2.24	2.28	2.34
0222	0300	0	76+000	77+000	2185	4.33	2.29	2.38	2.40
0222	0300	0	78+000	79+000	2185	4.86	2.43	2.46	2.53

ตารางที่ 2-18 ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่า IRI สายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (AADT 1,000-2,500) (ต่อ)

หมายเลขทาง	ตอนควบคุม	CWAY_NUM	กม.1	กม.2	AADT	SNC	RIa	IRI (จริง)	IRI (Model)
0222	0300	0	82+000	83+000	2185	4.62	2.53	2.86	2.64
2026	0100	0	0+000	1+000	2144	4.19	2.36	2.87	2.47
2026	0100	0	1+000	2+000	2144	4.12	2.57	2.78	2.69
2026	0100	0	2+000	3+000	2144	4.05	2.33	2.56	2.45
2026	0100	0	5+000	6+000	2144	3.81	2.72	3.11	2.85
2026	0100	0	6+000	7+000	2144	4.75	2.61	2.66	2.72
2026	0100	0	8+000	9+000	2144	3.76	3.02	3.22	3.18
2026	0100	0	9+000	10+000	2144	3.80	2.35	2.57	2.48
2095	0100	0	0+000	1+000	1406	3.63	2.80	2.83	2.94
2095	0100	0	1+000	2+000	1406	3.49	2.59	2.70	2.71
2095	0100	0	6+000	7+000	1406	3.67	2.34	2.47	2.45
2095	0100	0	21+000	22+000	1406	4.88	2.28	2.47	2.37
2095	0100	0	29+000	30+000	1406	5.06	2.49	2.53	2.58
2095	0100	0	33+000	34+000	1406	5.11	2.11	2.22	2.20



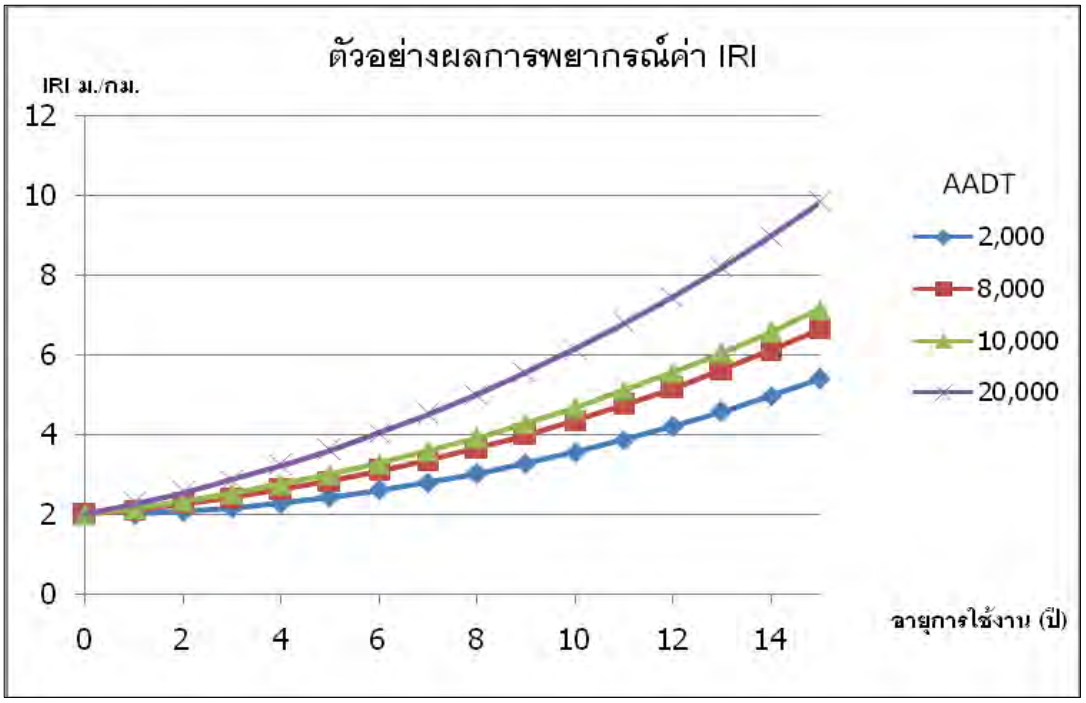
รูปที่ 2-57 เปรียบเทียบค่า IRI จริงของสายทางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง

สามารถสรุปค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของสายทางจำแนกตามปริมาณการจราจรและภูมิภาคได้ แสดงดังตารางที่ 2-19 ซึ่งในบางกลุ่มปริมาณการจราจรหรือในบางภูมิภาคไม่สามารถทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองได้ เนื่องจากมีข้อมูลไม่เพียงพอเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 2-19 ค่าปรับแก้การเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทาง

ปริมาณการจราจร	ภูมิภาค	Factor of Calibration, Kgp	R^2
>10,000	เหนือ	1.21	0.728
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	1.21	-
	กลาง	1.21	0.701
	ใต้	1.21	0.710
5,000 - 10,000	เหนือ	1.52	-
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	1.52	0.799
	กลาง	1.52	0.956
	ใต้	1.52	-
2,500 - 5,000	เหนือ	1.83	-
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	1.83	0.765
	กลาง	1.83	0.774
	ใต้	1.83	-
1,000 - 2,500	เหนือ	1.83	0.787
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	1.83	0.762
	กลาง	1.83	-
	ใต้	1.83	0.641
≤ 1,000	เหนือ	1.83	-
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	1.83	-
	กลาง	1.83	-
	ใต้	1.83	-

ตัวอย่างการพยากรณ์ค่าความขรุขระสากลของทางหลวงที่มีค่าความแข็งแรงโครงสร้างเท่ากับ 4.50 (SNC = 4.50) มีเปอร์เซ็นต์รถหนัก 20 (HV% = 20) และสมมติให้ค่า IRI เมื่อตอนสร้างใหม่เท่ากับ 2.00 สามารถทำนายค่า IRI ได้ แสดงรูปที่ 2-58



รูปที่ 2-58 ตัวอย่างการพยากรณ์ค่า IRI

สรุปตัวอย่างการทำนายค่า IRI ของสายทางที่ปริมาณการจราจรและความแข็งแรงต่าง ๆ โดยตัวอย่างนี้สมมติให้ HV% = 20 และสายทางสร้างใหม่มีค่า IRI = 2.00 เสมอ แสดงดังรูปที่ 2-58

ตารางที่ 2-20 ตัวอย่างผลการทำนายค่า IRI ของสายทางปริมาณการจราจรและความแข็งแรงต่าง ๆ

ปริมาณการจราจร	SNC	อายุการใช้งาน										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
> 10,000	**3.50**	2.00	2.32	2.67	3.06	3.49	3.96	4.47	5.02	5.62	6.27	-
	4.00	2.00	2.21	2.45	2.72	3.02	3.35	3.71	4.11	4.54	5.00	5.50
	4.50	2.00	2.15	2.33	2.53	2.76	3.01	3.29	3.59	3.92	4.29	4.68
	5.00	2.00	2.12	2.26	2.42	2.60	2.80	3.03	3.28	3.56	3.86	4.18
	5.50	2.00	2.10	2.21	2.35	2.50	2.68	2.87	3.09	3.33	3.59	3.88
	6.00	2.00	2.08	2.18	2.30	2.44	2.60	2.77	2.97	3.19	3.42	3.68
5,000 - 10,000	**3.50**	2.00	2.22	2.47	2.76	3.08	3.44	3.83	4.26	4.73	5.23	5.78
	4.00	2.00	2.16	2.34	2.55	2.79	3.06	3.35	3.68	4.05	4.44	4.87
	4.50	2.00	2.12	2.26	2.43	2.62	2.84	3.09	3.36	3.66	3.99	4.35
	5.00	2.00	2.10	2.22	2.36	2.52	2.71	2.93	3.17	3.43	3.72	4.04
	5.50	2.00	2.08	2.19	2.31	2.46	2.63	2.83	3.05	3.29	3.56	3.85
	6.00	2.00	2.07	2.17	2.28	2.42	2.58	2.76	2.97	3.20	3.45	3.73

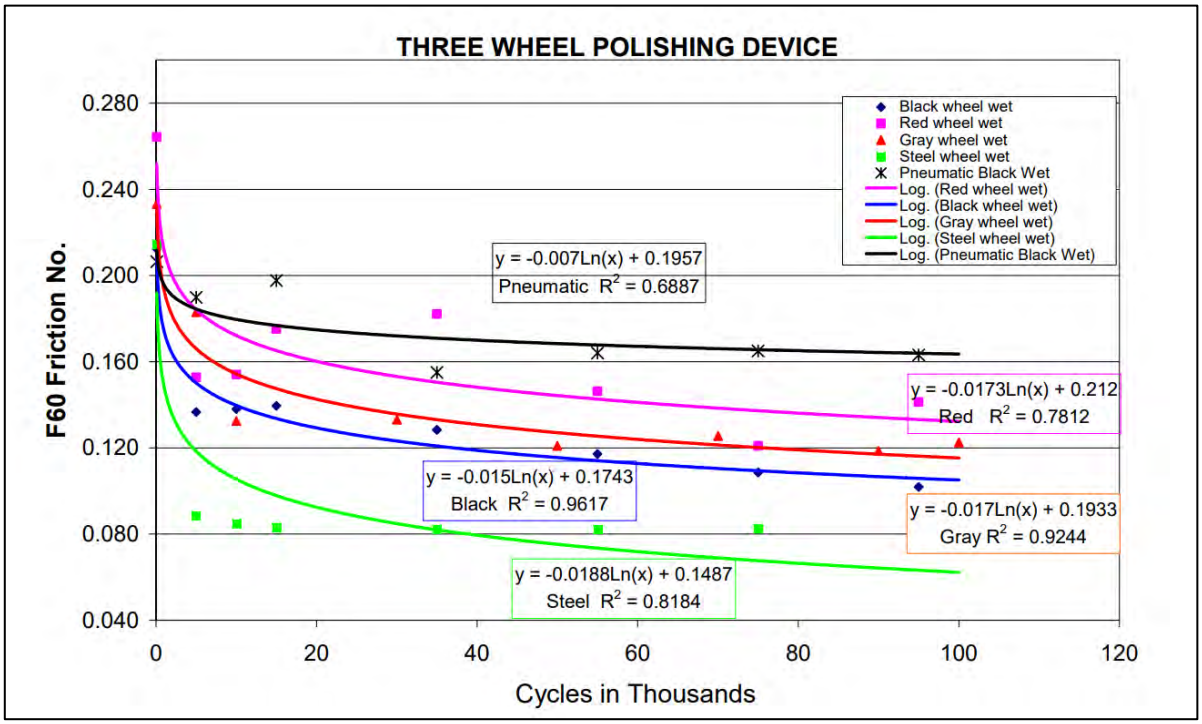
ตารางที่ 2-20 ตัวอย่างผลการทำนายค่า IRI ของสายทางปริมาณการจราจรและความแข็งแรงต่าง ๆ (ต่อ)

ปริมาณการจราจร	SNC	อายุการใช้งาน										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,500 - 5,000	**3.50**	2.00	2.14	2.30	2.50	2.73	2.99	3.28	3.60	3.96	4.36	4.79
	4.00	2.00	2.11	2.24	2.40	2.59	2.80	3.05	3.33	3.63	3.97	4.34
	4.50	2.00	2.09	2.20	2.34	2.51	2.70	2.92	3.17	3.45	3.76	4.09
	5.00	2.00	2.08	2.18	2.31	2.46	2.64	2.84	3.08	3.34	3.63	3.94
	5.50	2.00	2.07	2.17	2.29	2.43	2.60	2.80	3.02	3.27	3.55	3.85
	6.00	2.00	2.07	2.16	2.27	2.41	2.58	2.77	2.98	3.22	3.49	3.79
<= 1,000	**3.50**	2.00	2.10	2.22	2.37	2.55	2.76	2.99	3.25	3.55	3.87	4.23
	4.00	2.00	2.08	2.19	2.32	2.48	2.66	2.88	3.12	3.38	3.68	4.01
	4.50	2.00	2.07	2.17	2.29	2.44	2.61	2.81	3.04	3.29	3.57	3.88
	5.00	2.00	2.07	2.16	2.27	2.41	2.58	2.77	2.99	3.24	3.51	3.81
	5.50	2.00	2.06	2.15	2.26	2.40	2.56	2.75	2.96	3.20	3.47	3.76
	6.00	2.00	2.06	2.15	2.26	2.39	2.55	2.73	2.94	3.18	3.44	3.73

3) แบบจำลองความเสื่อมสภาพของความเสียดทานผิวทาง

National Center for Asphalt Technology (NCAT) แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ศึกษาพฤติกรรมการสูญเสียค่าความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance) ของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยการจำลองการขัดสีในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่อง Three-Wheel Polishing Device (TWPD) บนแผ่นแอสฟัลต์คอนกรีตและพบว่าค่าความต้านทานการลื่นไถลของแผ่นแอสฟัลต์คอนกรีตจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 0 - 15,000 รอบการขัดสี หลังจากนั้นอัตราการเสื่อมถอย (Deterioration rate) ของค่าความต้านทานการลื่นไถลจะลดลงจนเกือบคงที่เมื่อจำนวนรอบการขัดสีเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 2-59 (Vollor & Hanson, 2006)[1]

[1] *Vollor, Timothy W. and Douglas I. Hanson. "Development of Laboratory Procedure for Measuring Friction of HMA Mixtures - Phase I." (2006).*



รูปที่ 2-59 การเปลี่ยนแปลงค่าความเสียดทานสากลของแผ่นแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Vollor & Hanson, 2006)

อย่างไรก็ดี การศึกษาโดย Vollor & Hanson (2006) ยังไม่สามารถหาความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างค่า IFI ที่วัดได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการทดสอบจากภาคสนามได้ การศึกษาดังกล่าว จึงมุ่งเน้นที่จะสอบเทียบการจำลองการขัดสีในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่อง NCAT-TWPD กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนาม (ตัวแปรที่ต้องการสอบเทียบ เช่น ความเร็วและความถี่ในการขัดสีประเภทและชนิดของล้อยางที่ใช้ เป็นต้น ดังนั้น Rezaei & Masad (2011) จึงได้พัฒนาสมการแบบจำลองที่ใช้ทำนายค่า IFI เปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากการจำลองการขัดสีในห้องปฏิบัติการ แสดงดังสมการที่ 2-4

$$IFI = a + b \times \exp[-c(N/1{,}000)] \quad (2\text{-}4)$$

โดยที่ a, b และ c คือ regression parameters

a+b = ค่า IFI เริ่มต้น

a = ค่า IFI ต่ำสุด

c = อัตราการถดถอยของ IFI

N = จำนวนรอบการขัดสีด้วยเครื่อง TWPD

ที่ปรึกษาได้ศึกษาจากงานวิจัยที่ข้องกับการพัฒนาแบบจำลองการทำนายค่าความต้านทานการลื่นไถล ซึ่งเป็นการสร้างสมการแบบจำลองเพื่อคาดการณ์ค่าความเสียดทานของผิวทางของกรมทางหลวง 2 โครงการ ดังต่อไปนี้

(1) โครงการยกระดับมาตรฐานความฝืดของผิวแอสฟัลต์ เพื่อมุ่งสู่ทศวรรษแห่งความปลอดภัยทางถนน (กรมทางหลวง, 2561)

งานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการพัฒนาสมการทำนายค่าความต้านทานการลื่นไถลสากล (Skid Resistance) ของผิวแอสฟัลต์คอนกรีตโดยอ้างอิงสมการของ Rezaei & Masad (2011) โดยแบ่งสมการทำนายออกเป็น 2 สมการ ได้แก่ 1.สมการสำหรับทำนาย (Prediction Model) ค่าความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance) ของแผ่นตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่วัดได้การทดสอบในห้องปฏิบัติการ และ 2.สมการสำหรับทำนาย (Prediction Model) ค่าความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่วัดได้การทดสอบในภาคสนาม ซึ่งสมการทำนายค่า IFI ที่พัฒนาขึ้นมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางวิศวกรรม รวมถึงแร่องค์ประกอบหลักของหินมวลรวมแอสฟัลต์คอนกรีต โดยเป็นการหาความสัมพันธ์ทางสถิติค่าของตัวแปร a, a + b, และ c กับคุณสมบัติต่าง ๆ ของหิน และแอสฟัลต์คอนกรีตจากสมมติฐานที่ตั้งไว้ และสร้างแบบจำลองสมการถดถอย (Regression) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสมการจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการณ์กับการทดสอบภาคสนาม ซึ่งจาก การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติของตัวแปรต่างๆ ด้วย ANOVA Test พบว่า Regression parameters มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับคุณสมบัติต่าง ๆ ดังตัวแปรต่อไปนี้

$$IFI(Cum\ AADT) = a + b\ exp^{-c(N)} \quad (2\text{-}5)$$

โดยที่ a, b, c ได้มีปัจจัยจากตัวแปร ต่อไปนี้

$$a = f(AIV, ACV, PSV_{initial}) \quad (2\text{-}6)$$

$$c = f(H5,\ CaO,\ SiO_2) \quad (2\text{-}7)$$

$$a + b = f(ACV, \Delta PSV) \quad (2\text{-}8)$$

เมื่อ AIV คือ ค่า Aggregate Impact Value;
ACV คือ ค่า Aggregate Crushing Value
PSVinitial คือ ค่า Polished Stone Value ของหินมวลรวมก่อนขัด
H5 คือ ร้อยละของแร่ประกอบหินที่มีค่าความแข็งมากกว่า 5 ตามมาตรา Mohr
CaO คือ ร้อยละของแคลเซียมออกไซด์
SiO2 คือ ร้อยละของซิลิกาไดออกไซด์
ΔPSV คือ PSVinitial - PSVfianl
PSVfinal คือ ค่า Polished Stone Value ของหินมวลรวมหลังขัด
N คือ จำนวนรอบการขัดสี

(2) โครงการศึกษา วิจัย และวิเคราะห์ความเสียดทานของผิวทางเพื่อพัฒนาดัชนีชี้วัดและยกระดับด้านความปลอดภัยงานทาง ของกรมทางหลวง

สำหรับโครงการนี้ วิเคราะห์และคำนวณค่าดัชนีความเสียดทานสากล หรือ International Friction Index (IFI) จากรถสำรวจสภาพทางที่ตรวจวัดค่า Mean Profile Depth (MPD) จากอุปกรณ์ Laser Profiler, การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction, f หรือ μ) ด้วยเครื่องมือทดสอบ ASFT T-10 และการวิเคราะห์การเสื่อมเสื่อมสภาพของค่า IFI ของผิวทาง โดยใช้ปริมาณจราจรสะสมมาสร้างแบบจำลองจำแนกตามชนิดผิวทาง พบว่าข้อมูลชนิดผิวแบบ Para AC, Slurry Seal และ PMA มีข้อมูลค่อนข้างน้อย แต่มีแนวโน้มของการเสื่อมสภาพที่ชัดเจนขึ้น และข้อมูลของชนิดผิว AC 60-70 และ Para Slurry Seal ในช่วงปริมาณจราจรสะสมต่ำ ๆ มีค่า IFI ที่กระจายตัวค่อนข้างมาก สาเหตุอาจเกิดจากฝุ่นหรือโคลนที่เคลือบบริเวณผิวที่ทำการทดสอบ โดยมีผลสมการแบบจำลองพยากรณ์การเสื่อมสภาพของค่าดัชนีความเสียดทานสากล โดยแบ่งเป็น 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองที่ 1 จากข้อมูลที่สำรวจได้จากสายทางจริงของกรมทางหลวง แบบจำลองที่ 2 จากข้อมูลในห้องทดสอบแบบจำลองที่ 1 จากข้อมูลที่สำรวจได้จากสายทางจริงของกรมทางหลวง แบบจำลองที่ 2 จากข้อมูลในห้องทดสอบ แสดงดังตารางที่ 2-21 และ ตารางที่ 2-22 ตามลำดับ

ตารางที่ 2-21 แบบจำลองการเสื่อมสภาพทางที่ 1 จากการเสนอแนะการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของค่า IFI ของผิวทางจากการเก็บข้อมูลในสายทางของกรมทางหลวง

ชนิดผิว	แบบจำลองการเสื่อมสภาพของดัชนีความเสียดทานสากล
AC 60-70	$IFI_{AC\,60-70} = 0.34e^{-1.29\times10^{-8}(\text{ปริมาณจราจรสะสม})}$
Para AC	$IFI_{Para\,AC} = 0.41e^{-2.00\times10^{-7}(\text{ปริมาณจราจรสะสม})}$
Para Slurry Seal	$IFI_{Para\,Slurry} = 0.30e^{-2.24\times10^{-8}(\text{ปริมาณจราจรสะสม})}$
PMA	$IFI_{PMA} = 0.38e^{-2.51\times10^{-8}(\text{ปริมาณจราจรสะสม})}$
Slurry Seal	$IFI_{Slurry\,Seal} = 0.28e^{-5.56\times10^{-8}(\text{ปริมาณจราจรสะสม})}$

ตารางที่ 2-22 แบบจำลองการเสื่อมสภาพทางที่ 2 จากการเสนอแนะการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของค่า IFI ของผิวทางจากข้อมูลในห้องทดสอบ

ชนิดผิว	แบบจำลองการเสื่อมสภาพของดัชนีความเสียดทานสากล
AC 60-70	$IFI_{AC\,60-70} = 0.510e^{-1.29\times10^{-8}(\text{ปริมาณจราจรสะสม})}$
Para AC	$IFI_{Para\,AC} = 0.516e^{-2.00\times10^{-7}(\text{ปริมาณจราจรสะสม})}$
Para Slurry Seal	$IFI_{Para\,Slurry} = 0.528e^{-2.24\times10^{-8}(\text{ปริมาณจราจรสะสม})}$
PMA	$IFI_{PMA} = 0.522e^{-2.51\times10^{-8}(\text{ปริมาณจราจรสะสม})}$

4) แบบจำลองการเสื่อมสภาพผิวทางจากรูปแบบความเสียหาย

สำหรับแบบจำลองการเสื่อมสภาพทางที่ปรึกษาได้ศึกษารูปแบบการเสื่อมสภาพของผิวทางจำแนกตามรูปแบบความเสียหาย (Pavement distress modes) ได้ดังนี้

4.1 แบบจำลองการเสื่อมสภาพรอยแตก

แม้ว่ารอยแตกจะส่งผลน้อยต่อคุณภาพการขับขี่และแทบจะไม่มีผลต่อความปลอดภัยในการขับขี่ แต่เหตุผลหลักที่ทำให้รอยแตกเป็นความเสียหายที่สำคัญตัวหนึ่ง คือ เมื่อเกิดรอยแตกขึ้นน้ำจะสามารถซึมผ่านเข้าไปในส่วนของชั้นทาง ซึ่งผลลัพธ์ก็คือสายทางมีความแข็งแรงลดลง นอกจากนี้ถ้าไม่ได้รับการซ่อมแซมอาจเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายประเภทอื่นตามมา รอยแตกจะแบ่งช่วงการเกิดรอยแตกออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ระยะเวลาเริ่มเกิดรอยแตก (Initiation of all Structural Cracking) และอัตราการขยายตัวของรอยแตก (Progression of all Structural Cracking)

ระยะเวลาการเริ่มเกิดรอยแตก (Initiation of all Structural Cracking)

ช่วงเริ่มต้นการเกิดรอยแตกเป็นการทำนายอายุการใช้งานจนเกิดรอยแตกผิวทาง โดยอยู่ในรูปความสัมพันธ์ของ ความแข็งแรงโครงสร้าง ปริมาณน้ำหนักเพลา ความหนาของผิวทาง และการซ่อมบำรุง แสดงดังสมการของ HDM-4 ดังนี้

Stabilised Bases

กรณี HSOLD =0 (เช่น ผิวทางแรก)

ICA = Kcia{CDS2 a0 exp[a1HSE + a2loge(CMOD) + a3loge(DEF) + a4(YE4)(DEF)] + CRT}

กรณี HSOLD >0 (เช่น ผิวทาง Overlays หรือ Reseals)

$ICA = K_{cia}\{CDS^2\ [0.8\ KA + 0.2\ KW)(1 + 0.1\ HSE) + (1 - KA)(1 - KW)\ a_0\ \exp(a_1 HSE + a_2 \log_e(CMOD) + a_3 \log_e(DEF) + a_4(YE4)(DEF))] + CRT\}$

All Other Bases

กรณี HSOLD =0 (เช่น ผิวทางแรก)

$ICA = K_{cia}\{CDS^2\ a_0\ \exp[a_1 SNP + a_2(YE4/SNP^2)] + CRT\}$

กรณี HSOLD >0 (เช่น ผิวทาง Overlays หรือ Reseals)

ผิวทางทุกชนิดยกเว้น cold mix, slurry seal และ cape seal

$ICA = K_{cia}\{CDS^2\ [\max(a_0\ \exp[a_1 SNP + a_2(YE4/SNP^2)]\ \max(1 - PCRW/a_3, 0), a_4 HSNEW)] + CRT\}$

ผิวทางชนิด cold mix, slurry seal และ cape seal

ICA = $K_{cia}\{CDS^2\ [\max(a_0\ \exp(a_1\ SNP + a_2(YE4/SNP^2))\ \max(1 - PCRA/a_3, 0), a_4)] + CRT\}$

โดย ICA = ช่วงเวลาเริ่มเกิดรอยแตกชนิด all Structural, ภายในปีที่สนใจ

CDS = ดัชนีชี้วัดคุณภาพการก่อสร้างผิวทางชนิด Bituminous แบ่งเป็นค่า 0.5, 1.0 และ 1.5 เรียงลำดับจากคุณภาพต่ำไปสูง (การก่อสร้างปกติ = 1 โดย, อ้างอิง HDM-4 ตาราง B2-11)

YE4 = จำนวนเพลายานพาหนะตามประเภท ตลอดปี (ล้าน ESA/ช่องทางจราจร/ปี)

SNP = average annual adjusted structural number of the pavement
= SNC - dSNPK

dSNPK = 0.0000758 [min (63, ACXa)HSNEW + max(min (ACXa - PACX, 40), 0)HSOLD]

ACXa = พื้นที่รอยแตก Index Cracking เมื่อเริ่มต้นช่วงเวลาที่สนใจ (%)

PCAX = พื้นที่รอยแตก Index Cracking ของผิวทางเก่า, (%)
= 0.62 (PCRA) + 0.39 (PCRW)

DEF = ค่าการแอ่นตัว วัดได้จากเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (มม.)

CMOD = ค่า Resilient Modulus ของชั้นพื้นทาง มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 30 GPa ในดินส่วนใหญ่ โดยดินชั้นทางของประเทศไทยโดยประมาณ = 0.4 GPa
(กรมทางหลวง 2001, ตารางที่ 6)

HSNEW = ความหนาผิวทางปัจจุบัน, (มม.)

HSOLD = ความหนารวมของผิวทางเก่า (ในกรณีที่มีการขูดไสผิวทางเก่า ให้ใช้ค่า HSOLD = 0), (มม.)

PCRA = พื้นที่รอยแตก all Structural Cracking ก่อนการ Reseal หรือ Overlay, (%)

PCRW = พื้นที่รอยแตก Wide Structural Cracking ก่อนการ Reseal หรือ Overlay, (%)

KW = min [0.05 max (PCRW - 10, 0), 1]

KA = min [0.05 max (PCRA - 10, 0), 1]

HSE = min [100, HSNEW + (1 - KW) HSOLD]

Kcia = ค่าปรับแก้การเริ่มเกิดรอยแตก = 1

CRT = ค่าหน่วงการเกิดรอยแตก (ค่าอัตโนมัติของ HDM-4 = 0, HDM-4 Volume 6 P.B3-5 และ P.B13-14,15)

$a_{0,1,2,3,4}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การเกิดรอยแตกของ HDM-4 (ตารางที่ 7)

ตัวอย่างการคำนวนระยะเวลาการเกิดรอยแตกของสายทางสร้างใหม่ที่มีผิวทางชนิด Asphaltic Mix และพื้นทางชนิด Granular Base แสดงดังตารางที่ 2-23 และแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเกิดรอยแตกกับน้ำหนักเพลา (ล้านหน่วย/ปี) แสดงดังรูปที่ 2-60

ตารางที่ 2-23 ค่าเฉลี่ย Modulus วัสดุงานทางโดยทั่วไปของประเทศไทย *(ที่มา : กรมทางหลวง, 2001)*

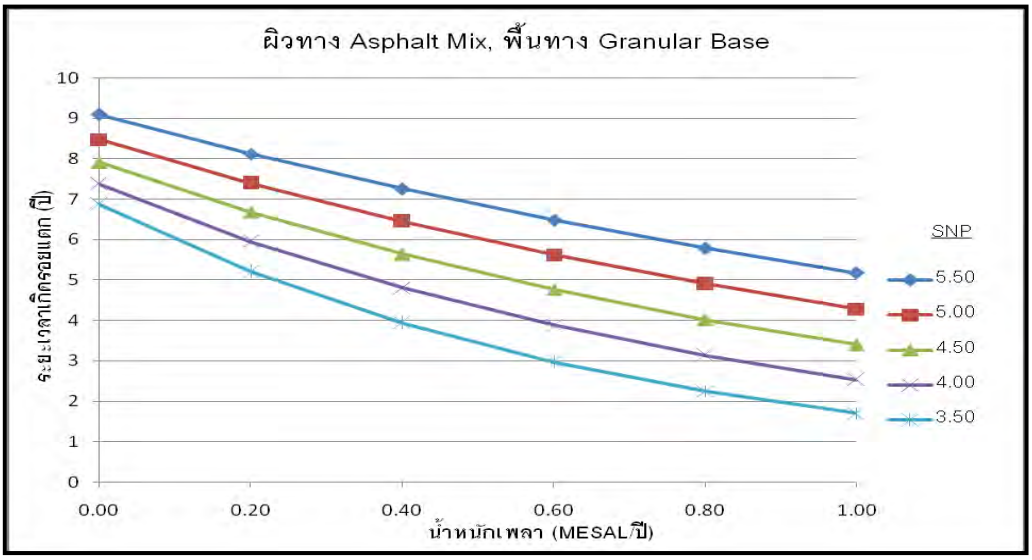
Pavement Materials	**Asphalt Grade/ Cement Content**	**Elastic Modulus at 35°C MPa**
Asphalt Materials		
Surface Treatment	AC 60/70 or 80/100	0
	Cutback RC 3000 or 800	0
Cold Mixed Asphalt	Asphalt Emulsion	0
Asphalt Concrete	AC 25/35 or 40/70	3000
AC surfacing on stabilized based layers		2000
Unbound Granular Base		
Crushed rock base		250 – 650
Steel slag		300 – 400
Crushed gravel base		150 – 500
Natural gravel base		120 – 300
Cement-modified base		
Mod. Crushed rock	2 %	200 – 400
Mod. Gravel	2 %	150 – 300
Stabilized soil cement	4 %	100 – 400
Stabilized laterite		300 – 600
Subbase Materials		
Sand		100 – 150
Clay		10 × CBR(%)

ตารางที่ 2-24 ดัชนีค่าคงที่ของการเกิดรอยแตก (ที่มา HDM-4 Volume 6)

Pave.Type	Pave Base	Surface Material	HSOLD	a0	a1	a2	a3	a4
Asphaltic Mix	Granular Base	All	0	4.21	0.14	-17.10	-	-
		All Except CM	>0	4.21	0.14	-17.10	30.00	0.025
		CM	>0	13.20	0.00	-20.70	20.00	1.40
Asphaltic Mix	Stabilised Base	All	0	1.12	0.035	0.371	-0.418	-2.87
			>0	1.12	0.035	0.371	-0.418	-2.87
Surface Treatment	Granular Base	All	0	13.20	0.00	-20.70	-	-
		All Except SL, CAPE	>0	13.20	0.00	-20.70	20.00	0.22
		Sl, CAPE	>0	13.20	0.00	-20.70	20.00	1.40
Surface Treatment	Stabilised Base	All	0	1.12	0.035	0.371	-0.418	-2.87
			>0	1.12	0.035	0.371	-0.418	-2.87

ตารางที่ 2-25 ตัวอย่างการคำนวนระยะเวลาเกิดรอยแตกของสายทางชนิด Asphaltic Mix และพื้นทางชนิด Granular Base

CDS	HSE	KA	CRT	SNP	YE4	ICA
1	50	0	0.00	3.50	0.00	6.87205
1	50	0	0.00	3.50	0.20	5.19803
1	50	0	0.00	3.50	0.40	3.93179
1	50	0	0.00	3.50	0.60	2.97401
1	50	0	0.00	3.50	0.80	2.24954
1	50	0	0.00	3.50	1.00	1.70156
1	50	0	0.00	4.00	0.00	7.37033
1	50	0	0.00	4.00	0.20	5.95191
1	50	0	0.00	4.00	0.40	4.80647
1	50	0	0.00	4.00	0.60	3.88146
1	50	0	0.00	4.00	0.80	3.13448
1	50	0	0.00	4.00	1.00	2.53125
1	50	0	0.00	4.50	0.00	7.90474
1	50	0	0.00	4.50	0.20	6.67637
1	50	0	0.00	4.50	0.40	5.63888
1	50	0	0.00	4.50	0.60	4.76261
1	50	0	0.00	4.50	0.80	4.02251
1	50	0	0.00	4.50	1.00	3.39743



รูปที่ 2-60 ระยะเวลาการเริ่มเกิดรอยแตกสำหรับทางชนิด Non Stabilised Bases

อัตราการขยายตัวของรอยแตก (Progression of all Structural Cracking)

แบบจำลองการเสื่อมสภาพประเภทรอยแตกในช่วงนี้เป็นแบบจำลองที่มีความสัมพันธ์ขึ้นกับเวลา (Time-Based) และประเภทของชั้นผิวทางและชั้นพื้นทาง โดยการทำนายการขยายตัวของรอยแตกเริ่มขึ้นเมื่อสายทางที่พิจารณามีรอยแตกหรือทำนายนับจากอายุที่จะเกิดรอยแตกที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองทำนายการเกิดรอยแตก ซึ่งสมการทำนายอัตราการขยายตัวของรอยแตกแสดงดังนี้

$$dACA = Kcpa(CRP/CDS)\, zA\, [(zA\, a0\, a1\, \delta tA + SCAa1\,)1/a1 - SCA] \quad (2\text{-}9)$$

เกิดขั้นตอนการเกิดรอยแตกต่อเนื่องเมื่อ $\delta tA > 0$ or $ACAa > 0$

$\delta t_A = 1$ if $ACA_a > 0$, otherwise $\delta t_A = \max\{0, \min[(AGE2 - ICA), 1]\}$

if $ACA_a \geq 50$ then $z_A = -1$, otherwise $z_A = 1$

$ACA_a = \max(ACA_a, 0.5)$

$SCA = \min[ACA_a, (100 - ACA_a)]$

$Y = [a_0\, a_1\, z_A\, \delta t_A + SCA^{a1}]$

i) ถ้า Y < 0 ดังนั้น

$dACA = K_{cpa}(CRP/CDS)(100 - ACA_a)$

ii) ถ้า Y ≥ 0 ดังนั้น

$dACA = K_{cpa}(CRP/CDS)z_A\,(Y^{1/a1} - SCA)$

iii) ถ้า ACAa ≤ 50 and ACAa + dACA > 50 ดังนั้น

$dACA = K_{cpa}(CRP/CDS)(100 - c_1^{1/a1} - ACA_a)$

โดย dACA = All Structural Cracking ที่เพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาที่สนใจ, % ของพื้นที่ Carriageway ทั้งหมด (%)

ACA_a = พื้นที่ All Structural Cracking เมื่อเริ่มต้นปีที่สนใจ (%)

δt_A = ส่วนย่อยของปีที่เกิดรอยแตกต่อเนื่อง

AGE2 = อายุผิวทางตั้งแต่มีการ Seal, Overlay, Reconstruction หรือการก่อสร้างใหม่ครั้งสุดท้าย (ปี)

K_{cpa} = ค่าปรับแก้การเกิดรอยแตกต่อเนื่อง

CRP = ค่าหน่วงการเกิดรอยแตกต่อเนื่องจากการ Pavement Treatment CRP = 1 - 0.12 CRT

$a_{0,\ 1}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการขยายตัวของรอยแตก แสดงดังตารางที่ 2-26

ตารางที่ 2-26 ดัชนีค่าคงที่ของอัตราการขยายตัวของรอยแตก

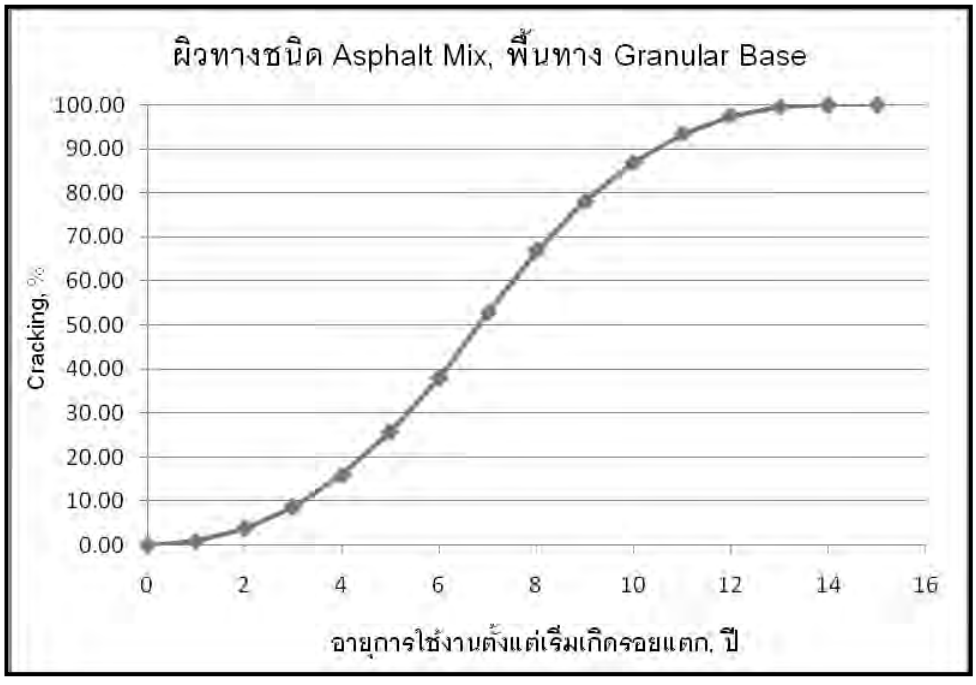
Pave.Type	Pave Base	Surface Material	HSOLD	a0	a1
Asphaltic Mix	Granular Base	All	0	1.84	0.45
		All Except CM	>0	1.07	0.28
		CM	>0	2.41	0.34
Asphaltic Mix	Stabilised Base	All	0	2.13	0.35
			>0	2.13	0.35
Surface Treatment	Granular Base	All	0	1.76	0.32
			>0	2.41	0.34
Surface Treatment	Stabilised Base	All	0	2.13	0.35
			>0	2.41	0.34

ที่มา : HDM-4 Volume 6

ตัวอย่างการทำนายอัตราการขยายตัวของรอยแตกแสดงดังตารางที่ 2-27 เป็นการทำนายการขยายตัวของรอยแตกของสายทางผิวทางชนิดแอสฟัลต์คอนกรีตและพื้นทางประเภทหินคลุก โดยให้รอยแตกเริ่มต้นเป็นร้อยละ 1 ของพื้นที่ และ ACAb แทนพื้นที่รอยแตก (ร้อยละ) ที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองในแต่ละปี ซึ่งสามารถแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ร้อยละของรอยแตกกับอายุการใช้งานนับจากเมื่อเริ่มเกิดรอยแตกได้ แสดงดังรูปที่ 2-61

ตารางที่ 2-27 ตัวอย่างการทำนายอัตราการขยายตัวรอยแตกของสายทางชนิดผิวทางชนิดแอสฟัลต์คอนกรีตและพื้นทางประเภทหินคลุก

อายุการใช้งานนับจาก ICA	currentCrack	δtA	zA	ACAa	SCA	CDS	CRT	CRP	Y	C1	dACA	ACAb
0	0.00	0	1	0.50	0.50	1	0	1	0.732	10.898	0.00	0.00
1	0.00	0	1	0.50	0.50	1	0	1	0.732	10.898	0.00	1.00
2	1.00	1	1	1.00	1.00	1	0	1	1.828	9.802	2.82	3.82
3	3.82	1	1	3.82	3.82	1	0	1	2.656	8.974	4.94	8.76
4	8.76	1	1	8.76	8.76	1	0	1	3.484	8.146	7.25	16.02
5	16.02	1	1	16.02	16.02	1	0	1	4.312	7.318	9.71	25.73
6	25.73	1	1	25.73	25.73	1	0	1	5.140	6.490	12.28	38.01
7	38.01	1	1	38.01	38.01	1	0	1	5.968	5.662	14.87	52.88
8	52.88	1	-1	52.88	47.12	1	0	1	4.834	5.140	13.96	66.84
9	66.84	1	-1	66.84	33.16	1	0	1	4.006	5.968	11.32	78.16
10	78.16	1	-1	78.16	21.84	1	0	1	3.178	6.796	8.79	86.94
11	86.94	1	-1	86.94	13.06	1	0	1	2.350	7.624	6.38	93.33
12	93.33	1	-1	93.33	6.67	1	0	1	1.522	8.452	4.13	97.46
13	97.46	1	-1	97.46	2.54	1	0	1	0.694	9.280	2.10	99.56
14	99.56	1	-1	99.56	0.44	1	0	1	-0.134	10.108	0.44	100.00



รูปที่ 2-61 อัตราการขยายตัวของรอยแตก (ที่มา HDM-4)

4.2 แบบจำลองการเสื่อมสภาพรอยร่องล้อ

แบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพรอยร่องล้อของ HDM-4 ประกอบด้วยส่วนประกอบทั้งโดยรอยร่องล้อ ณ เวลาใด ๆ คือ ผลรวมของส่วนประกอบทั้ง 4 ดังนี้ 1) Initial Densification 2) Structural Densification 3) Plastic Densification และ 4) Wear from Studded Tyres แต่สำหรับประเทศไทยส่วนของ Wear from Studded Tyres จะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากเป็นการเปลี่ยนรูปซึ่งได้รับผลกระทบจากล้อที่ใช้วิ่งบนทางที่มีหิมะเพื่อกันการลื่นไถล

Initial Densification

ในช่วง 1 ปีแรกของสายทางสร้างใหม่ รอยร่องล้อที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงความสัมพันธ์ของปริมาณการจราจร ความแข็งแรงของโครงสร้าง และการบดอัด ดังนี้

RDO = K_{rid} [a_0 (YE4 10^6)$^{(a1 + a2\ DEF)}$ SNP^{a3} $COMP^{a4}$] โดย การเปลี่ยนรูปเนื่องจาก Initial Densification

YE4 = Annual Number of Equivalent Standard Axles (ล้าน ESA/ช่องทางจราจร/ปี)

DEF = ค่าเฉลี่ยการแอ่นตัวจากเครื่องมือ Benkelman Beam ต่อปี (mm)

SNP = ค่าเฉลี่ย Adjusted Structural Number

COMP = ค่าความสัมพันธ์การบดอัด (%) (ค่าอัตโนมัติของ HDM-4 = 100, อ้างอิง HDM-4 ตาราง B2-11))

K_{rid} = ดัชนีปรับแก้ของ Initial Densification (1)

a_0 = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Initial Densification มีค่าเท่ากับ 51,740

a_1 = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Initial Densification มีค่าเท่ากับ 0.09

a_2 = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Initial Densification มีค่าเท่ากับ 0.0384

a_3 = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Initial Densification มีค่าเท่ากับ -0.502

a_4 = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Initial Densification มีค่าเท่ากับ -2.30

Structural Deformation

การเปลี่ยนรูปทางโครงสร้างนี้ สามารถพิจารณาเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นด้วยกัน 2 ช่วง คือ ช่วงก่อนเกิดรอยแตก และช่วงหลังเกิดรอยแตก Structural Deformation เมื่อไม่มีรอยแตก

$\Delta RDST_{uc} = K_{rst} (a_0\ SNP^{a1}\ YE4^{a2}\ COMP^{a3})$

Structural Deformation เมื่อมีรอยแตก

$\Delta RDST_{crk} = K_{rst}\ [a_0\ SNP^{a1}\ YE4^{a2}\ MMP^{a3}\ ACX_a^{a4}]$, (0, ถ้าไม่มีรอยแตก)

โดยที่การเปลี่ยนรูปทางโครงสร้างสามารถคำนวนได้ ดังนี้

ไม่มีรอยแตก

$\Delta RDST = \Delta RDST_{uc}$

มีรอยแตก

$\Delta RDST = \Delta RDST_{uc} + \Delta RDST_{crk}$

โดย $\Delta RDST$ = ค่า Structural Deformation ที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดในปีที่พิจารณา (มิลลิเมตร)

$\Delta RDST_{uc}$ = ค่า Structural Deformation ที่เพิ่มขึ้นเมื่อไม่มีรอยแตกในปีที่พิจารณา (มิลลิเมตร)

$\Delta RDST_{crk}$ = ค่า Structural Deformation ที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีรอยแตกในปีที่พิจารณา (มิลลิเมตร)

MMP = ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือน (มิลลิเมตร/เดือน)

ACXa = พื้นที่ Index Cracking ต้นปีที่พิจารณา (%)

Krst = ดัชนีปรับแก้ของ Structural Deformation (1)

$a_{0,\ 1,\ 2,3,\ 4}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Structural Deformation (ตารางที่ 2-20)

ตารางที่ 2-28 ดัชนีค่าคงที่ของ Structural Deformation

รอยแตก	Pave Type	a0	a1	a2	a3	a4
ไม่มีรอยแตก	ทุกชนิด	44,950	-1.14	0.11	-2.3	-
มีรอยแตก	ทุกชนิด	0.0000248	-0.84	0.14	1.07	1.11

ที่มา : HDM-4 Volume 6)

Plastic Deformation

$\Delta RDPD = K_{rpd} * a_0 * CDS^{a1} * YE4 * Sh^{a2} * HS^{a3}$

โดย

$\Delta RDPD$ = ค่า Plastic Deformation ที่เพิ่มขึ้นในปีที่พิจารณา (มิลลิเมตร)

CDS = ดัชนีชี้วัดคุณภาพการก่อสร้างสำหรับผิวทางชนิด Bituminous (การก่อสร้างปกติ = 1)

YE4 = Annual Number of Equivalent Standard Axles (ล้าน ESA/ช่องทางจราจร/ปี)

Sh = ความเร็วยานพาหนะหนัก (กิโลเมตร/ชั่วโมง) (กำหนดให้ความเร็วรถหนักทั่วไป = 50)

HS = ความหนาผิวทางทั้งหมด (มิลลิเมตร)

K_{rpd} = ดัชนีปรับแก้ของ Plastic Deformation (1)

$a_{0, 1, 2,3, 4}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Plastic Deformation (ตารางที่ 2-29)

ตารางที่ 2-29 ดัชนีค่าคงที่ของ Plastic Deformation

Pave. Type	a0	a1	a2	a3
Asphaltic Mix	0.3	3.27	-0.78	0.71
Surface Treatment	0	3.27	-0.78	0.71

ที่มา : HDM-4 Volume 6

การเสื่อมสภาพรอยร่องล้อทั้งหมด

ถ้าอายุสายทางไม่เกิน 1 ปี

$\Delta RDM = RDO + \Delta RDPD$

มิฉะนั้น

$\Delta RDM = \Delta RDST + \Delta RDPD$

โดย Rut Depth ทั้งหมด ณ เวลาใดๆ

$RDM_b = \min [(RDM_a + \Delta RDM), 100)$

เมื่อ ΔRDM = ค่า Rut Depth ที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดทั้ง 2 ฝั่งล้อในปีที่พิจารณา (มิลลิเมตร)

RDM_a = Rut Depth ทั้งหมดทั้ง 2 ฝั่งล้อเมื่อเริ่มต้นปีที่พิจารณา (ปี)

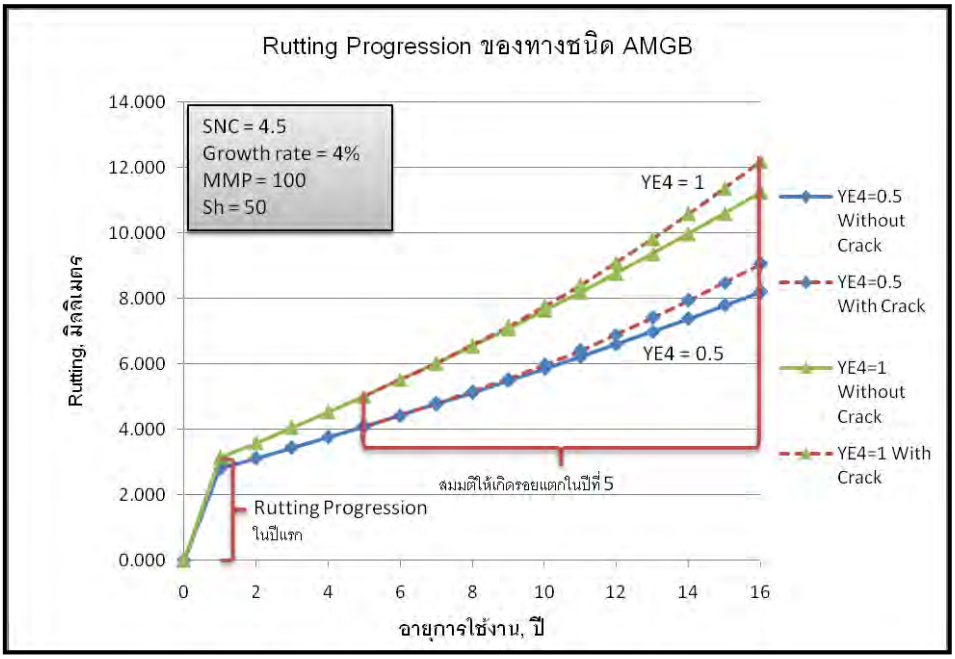
RDM_b = Rut Depth ทั้งหมดทั้ง 2 ฝั่งล้อเมื่อปลายปีที่พิจารณา (ปี)

ตัวอย่างการคำนวนการทำนายการขยายตัวของรอยร่องล้อด้วยแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลสายทางที่มีผิวทางชนิด Asphaltic Mix และพื้นทางชนิด Granular Base แสดงดังตารางที่ 2-30 และแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างรอยร่องล้อกับอายุการใช้งาน (ปี) โดยสมมติให้เกิดรอยแตกเมื่อสายทางมีอายุการใช้งาน 5 ปี ปริมาณการจราจรมีการขยายตัวร้อยละ 4 ต่อปี และมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือนตลอดเท่ากับ 100 มม. แสดงดังรูปที่ 2-62

ตารางที่ 2-30 ตัวอย่างการคำนวนรอยร่องล้อของสายทางชนิด Asphaltic Mix และพื้นทางชนิด Granular Base

currentCrack	rutLane	MMP	Sh	HS	CDS	AGE2	SNP	YE4	RDO	$\Delta RDST_{uc}$	$\Delta RDST_{crk}$	ΔRDST	ΔRDPD	ΔRDM	RDM
1.00	4.534	100	50	50	1	5	4.5	1.22	2.961	0.208	0.001	0.209	0.278	0.486	5.020
3.82	5.020	100	50	50	1	6	4.5	1.27	2.974	0.209	0.004	0.213	0.289	0.502	5.521
8.76	5.521	100	50	50	1	7	4.5	1.32	2.987	0.209	0.011	0.221	0.300	0.521	6.042
16.02	6.042	100	50	50	1	8	4.5	1.37	3.001	0.210	0.022	0.232	0.312	0.545	6.587
25.73	6.587	100	50	50	1	9	4.5	1.42	3.014	0.211	0.037	0.249	0.325	0.573	7.160
38.01	7.160	100	50	50	1	10	4.5	1.48	3.027	0.212	0.058	0.270	0.338	0.608	7.768
52.88	7.768	100	50	50	1	11	4.5	1.54	3.041	0.213	0.084	0.297	0.351	0.648	8.417
66.84	8.417	100	50	50	1	12	4.5	1.60	3.054	0.214	0.110	0.324	0.365	0.689	9.106
78.16	9.106	100	50	50	1	13	4.5	1.67	3.068	0.215	0.131	0.346	0.380	0.726	9.832
86.94	9.832	100	50	50	1	14	4.5	1.73	3.081	0.216	0.148	0.364	0.395	0.759	10.591
93.33	10.591	100	50	50	1	15	4.5	1.80	3.095	0.217	0.162	0.378	0.411	0.789	11.380
97.46	11.380	100	50	50	1	16	4.5	1.87	3.109	0.218	0.170	0.388	0.427	0.815	12.196

เนื่องจากการพัฒนาแบบจำลองทำนายค่าความลึกร่องล้อ ในระบบบริหารงานบำรุงทางนี้ได้อ้างอิงแบบจำลองจาก HDM-4 ซึ่งอัตราการเพิ่มของค่าความลึกร่องล้อเปรียบเทียบกับอายุการใช้งานนั้นอาจจะคลาดเคลื่อนกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกร่องล้อและอายุการใช้งานสำหรับสายทางของกรมทางหลวง และเนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลที่ได้เก็บสำรวจ จึงทำให้ไม่สามารถปรับแก้แบบจำลองได้ ดังนั้นทางที่ปรึกษาจึงเสนอว่าควรเก็บสำรวจข้อมูลร่องล้อทุก ๆ ปี ซึ่งเลือกเฉพาะตัวแทนสายทางบางกลุ่ม สำหรับการศึกษาพัฒนาและปรับแก้ความถูกต้องของแบบจำลองต่อไป

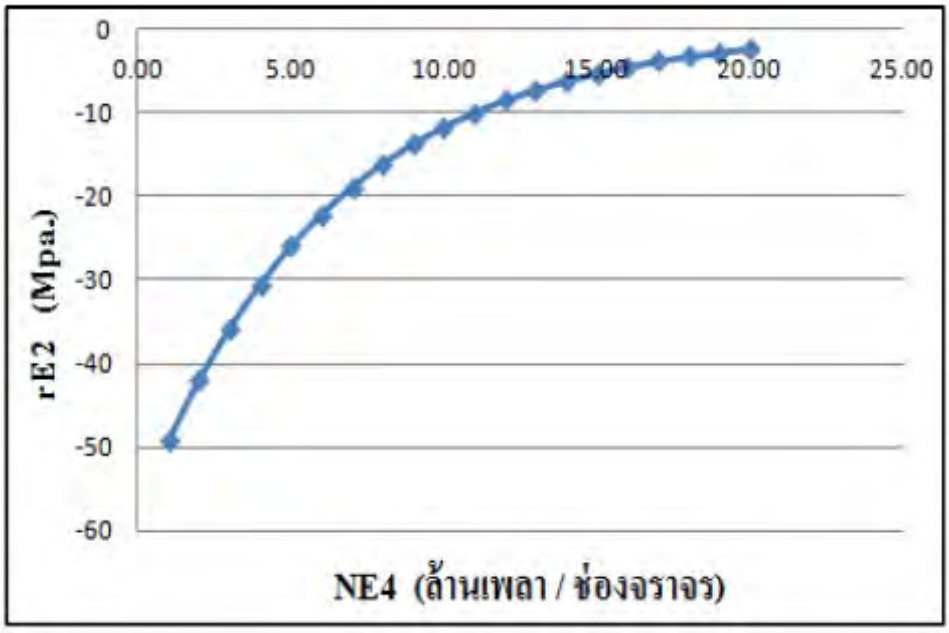


รูปที่ 2-62 ความสัมพันธ์ระหว่างรอยแตกกับอายุการใช้งาน

4.3 แบบจำลองการเสื่อมสภาพความแข็งแรงโครงสร้างทาง

จากการศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเสื่อมสภาพของโครงสร้างทางในการวางแผนงานบำรุงทางโดยวิธีวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน โดย ทวี ก่อพงศ์เจริญชัย และ วิศณุ ทรัพย์สมพล ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ศึกษาแบบจำลองการเสื่อมสภาพของความแข็งแรงโครงสร้างทาง โดยจากการศึกษาพบว่า พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางได้แก่ ปริมาณจราจร ปริมาณน้ำฝน อายุการใช้งาน วิธีการซ่อมบำรุง และลักษณะโครงสร้างชั้นทาง ซึ่งแบบจำลองจะใช้ค่าอีลาสติกโมดูลัสของชั้นพื้นทาง (Elastic Modulus of Base Layer, E2) ที่ได้จากการทดสอบจากเครื่องมือ FWD โดยค่า E2 สามารถคำนวณได้ ดังนี้

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการเสื่อมสภาพของค่า E2 เทียบกับจำนวนเพลามาตราฐานสะสม แสดงดังรูปที่ 2-63



รูปที่ 2-63 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเสื่อมสภาพของE2 และปริมาณเพลามาตรฐานสะสม

5) แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง

5.1 แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุงของค่า IRI

จากการศึกษาพบว่า วิธีการซ่อมบำรุง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า IRI ไม่เท่ากัน จึงแบ่งออกมาตามวิธีการซ่อมบำรุงได้ดังนี้

5.2 แบบจำลองผลกระทบค่า IRI หลังการฉาบผิวทางลาดยาง (Slurry seal)

ซึ่งจากการศึกษาพบว่า แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณค่า IRI หลังจากฉาบผิวทางลาดยาง ในระบบ TPMS ได้อ้างอิงจาก HDM-4 โดยมีสมการในการคำนวณดังนี้

$$RIa = RIb - MAX\{0, MIN[A0*(RIb - 2.85), 0.06 * Hsl]\} \quad (2\text{-}10)$$

โดยที่ RIa = IRI หลังการฉาบผิว (m/km)

RIb = IRI ก่อนการฉาบผิว (m/km)

Hsl = ความหนาของการฉาบผิว l (mm)

A0 = 1 ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ (Default)

5.3 แบบจำลองผลกระทบค่า IRI หลังการเสริมผิวทางลาดยาง (Overlay)

$$\Delta RIa = \max\{0, a0[\min(a1,RIbw)-a2]+a3\max[0,(RIbw -a1)]\} \quad (2\text{-}11)$$

$$RIaw = RIbw - \Delta RIa \quad (2\text{-}12)$$

โดยที่ a0 = 0.9 (default)

a1 = max{4.0 , 2.1exp[0.019HSNEWaw]}

a2 = 1 + 0.018max[0 , (100-HSNEWaw)]

a3 = min{ a0 , max[0 , (0.01HSNEWaw- 0.15)]}

ΔRIa = การลดค่าของค่า IRI หลังการการเสริมผิวทาง

Ribw = ค่า IRI ก่อนการเสริมผิวทาง (m/km)

Riaw = ค่า IRI หลังการเสริมผิวทาง (m/km)

HSNEWaw = ความหนาของการเสริมผิวทาง (mm)

5.4 แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุงของค่า IFI

จากการศึกษาในแบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางของค่า IFI จะได้ค่า IFI ณ จุดเริ่มต้น ในแต่ละวิธีการซ่อมบำรุง ซึ่งจากสมการ

$$IFI = a + b \times \exp [-c(N/1,000)] \quad (2\text{-}13)$$

โดยที่ a, b และ c คือ regression parameters

a+b = ค่า IFI เริ่มต้น

a = ค่า IFI ต่ำสุด

c = อัตราการถดถอยของ IFI

N = จำนวนรอบการขัดสีด้วยเครื่อง TWPD

จะได้ค่าหลังการซ่อมบำรุง เท่ากับ a + b ในแต่ละวิธีการซ่อมบำรุง

2.2 งานศึกษารวบรวมข้อมูล สารสนเทศ และฐานข้อมูลภายในกรมทางหลวง

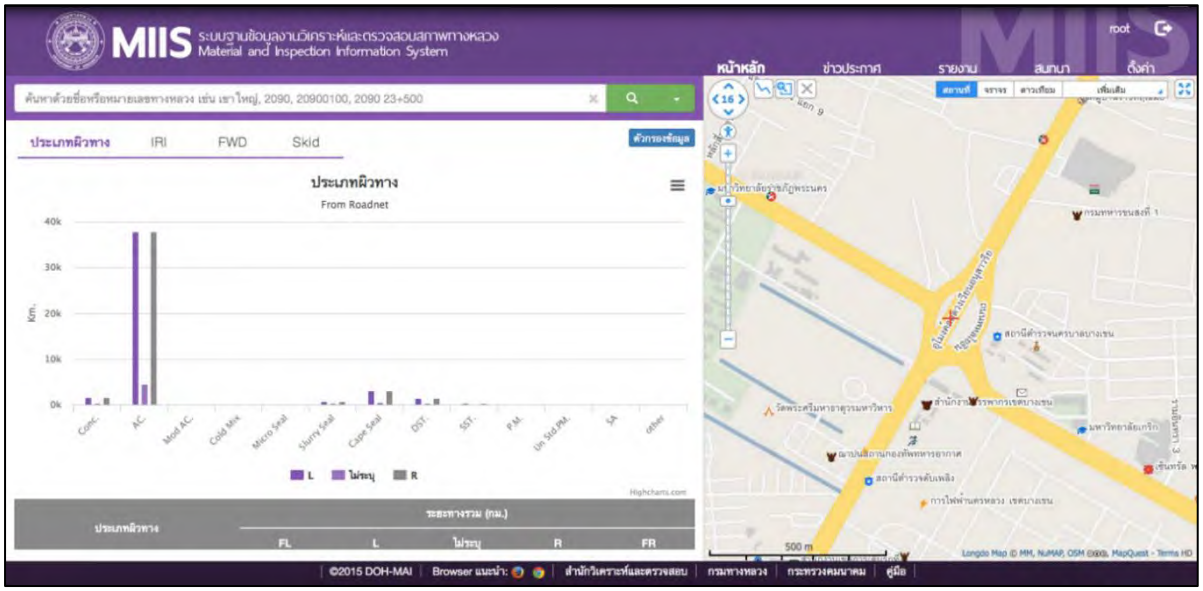
ที่ปรึกษาจะศึกษารวบรวมข้อมูล สารสนเทศ และฐานข้อมูลจากสำนักต่าง ๆ ของกรมทางหลวง ในรูปแบบของดิจิทัลไฟล์ หรือเอกสารข้อมูล ประกอบด้วยข้อมูลเบื้องต้น ดังต่อไปนี้

2.2.1 ระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทางหลวง (MIIS) โดยสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ยกตัวอย่างเช่น ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ค่าการแอ่นตัวของถนน (Pavement Deflection) ค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง (Friction) เป็นต้น

ระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทางหลวง (MIIS) พัฒนาขึ้นเพื่อจัดการข้อมูลการสำรวจสภาพทางและข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องของสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ และจัดทำฐานข้อมูลที่เป็นระบบและสอดคล้องรองรับระบบงานทะเบียนทางหลวงของสำนักแผนงาน กรมทางหลวง โดยระบบพัฒนาในรูปแบบของ Web Based Application เพื่อรองรับการบริหารจัดการข้อมูลการสำรวจสภาพทางและข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลงานตรวจสอบสภาพทาง เช่น ความเรียบของถนน ความเสียหายของถนน ข้อมูลสำรวจรากฐาน เช่น งานเจาะสำรวจ งานสำรวจความแข็งแรงของรากฐาน

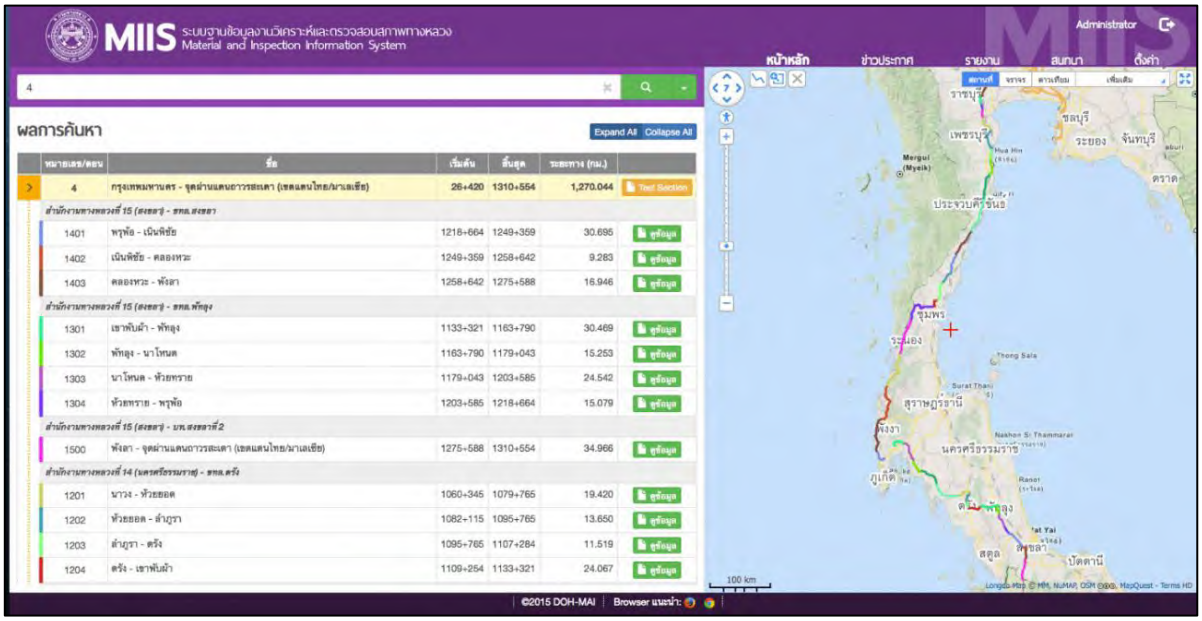
ภาพรวมของระบบ MIIS มีองค์ประกอบหลัก ๆ 5 องค์ประกอบ ได้แก่

1) หน้าหลัก สำหรับดูข้อมูลสรุป ค้นหาสายทาง ค้นหาและแก้ไขข้อมูลสำรวจ
2) ข่าวประกาศ สำหรับให้สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ สามารถประกาศข่าวต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบได้
3) รายงาน สำหรับออกรายงานและส่งออกข้อมูลแผนที่
4) สนทนา สำหรับตั้งกระทู้สนทนาสำหรับถาม - ตอบปัญหาการใช้งานระบบ
5) ตั้งค่า สำหรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ระบบจะนำไปใช้



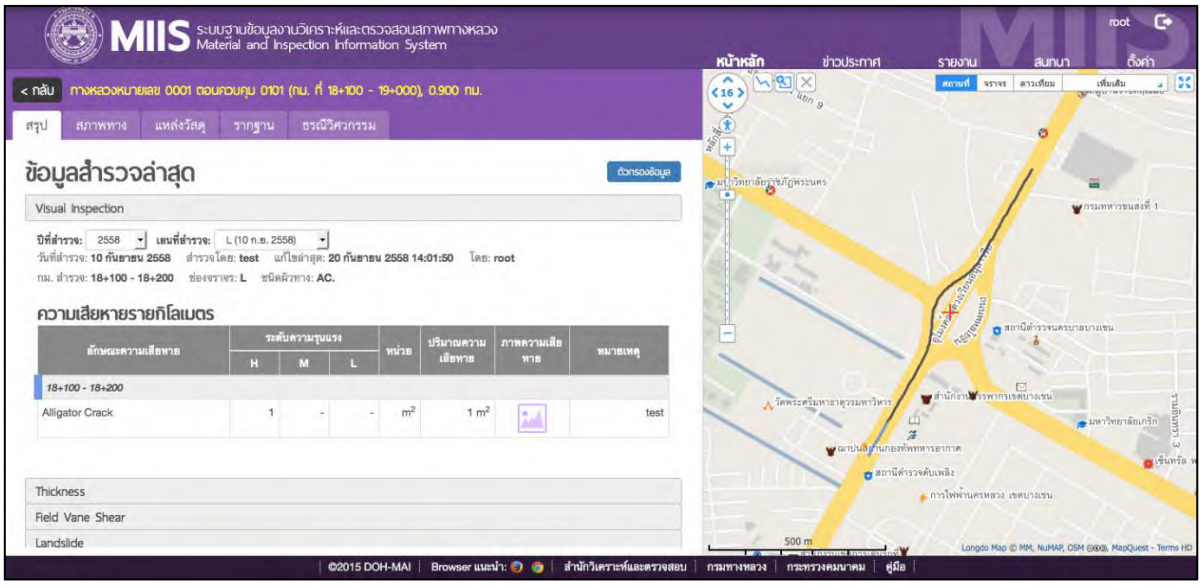
รูปที่ 2-64 ตัวอย่างหน้าจอหลัก – Dashboard

1) **หน้าหลัก** ประกอบด้วยส่วนการทำงาน 2 ส่วน ได้แก่
   - ด้านซ้าย สำหรับแสดงข้อมูลต่าง ๆ รวมถึงแบบฟอร์มการแก้ไขข้อมูล จะมี Tab การทำงานหลัก 3 Tab ได้แก่
     - Dashboard สำหรับแสดงข้อมูลสรุปในรูปแบบของกราฟหรือตารางใน Tab นี้ก็จะมี Tab ย่อย ๆ อีก โดยแบ่งตามหัวข้อการสำรวจ แสดงดังรูปที่ 2-64
     - ทางหลวง สำหรับแสดงผลการค้นหาสายทาง รวมถึงการเรียกดูและแก้ไขข้อมูลสำรวจ จะอยู่ใน Tab นี้ทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 2-65
   - ด้านขวา สำหรับแสดงแผนที่สามารถขยายแผนที่ให้กว้างขึ้นได้



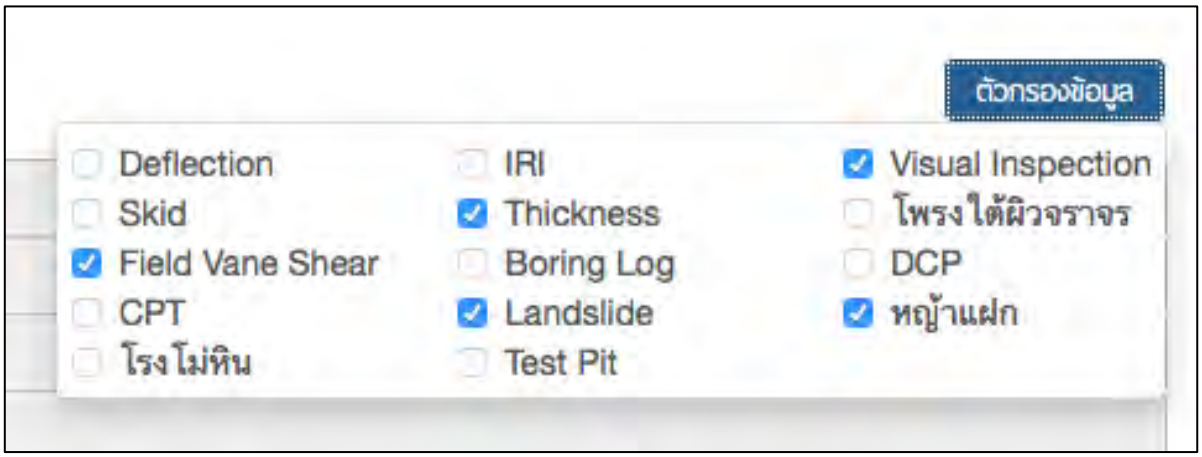
รูปที่ 2-65 ตัวอย่างหน้าจอหลัก – การค้นหาทางหลวง

ระบบยังสามารถค้นหาสายทางหรือชื่อสายสายสำหรับค้นหาข้อมูลและแสดงเงื่อนไขการค้นหาได้โดยที่ระบบจะแสดงผลลัพธ์เพื่อดูหรือแก้ไขข้อมูลสำรวจ โดยแต่ละหัวข้อการสำรวจจะถูกแยกออกเป็น Tab ต่าง ๆ ผู้ใช้สามารถดูหรือแก้ไขข้อมูลได้ โดยหน้าแรกสุดจะเป็นการสรุปข้อมูลสำรวจที่อยู่ภายในตอนควบคุมนั้น ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2-66



รูปที่ 2-66 ตัวอย่างหน้าสรุปข้อมูลการสำรวจในแต่ละตอนควบคุม

ระบบยังสามารถกรองข้อมูลที่ต้องการแสดงผลได้หลังจากกด Tab ข้อมูล แสดงดังรูปที่ 2-67

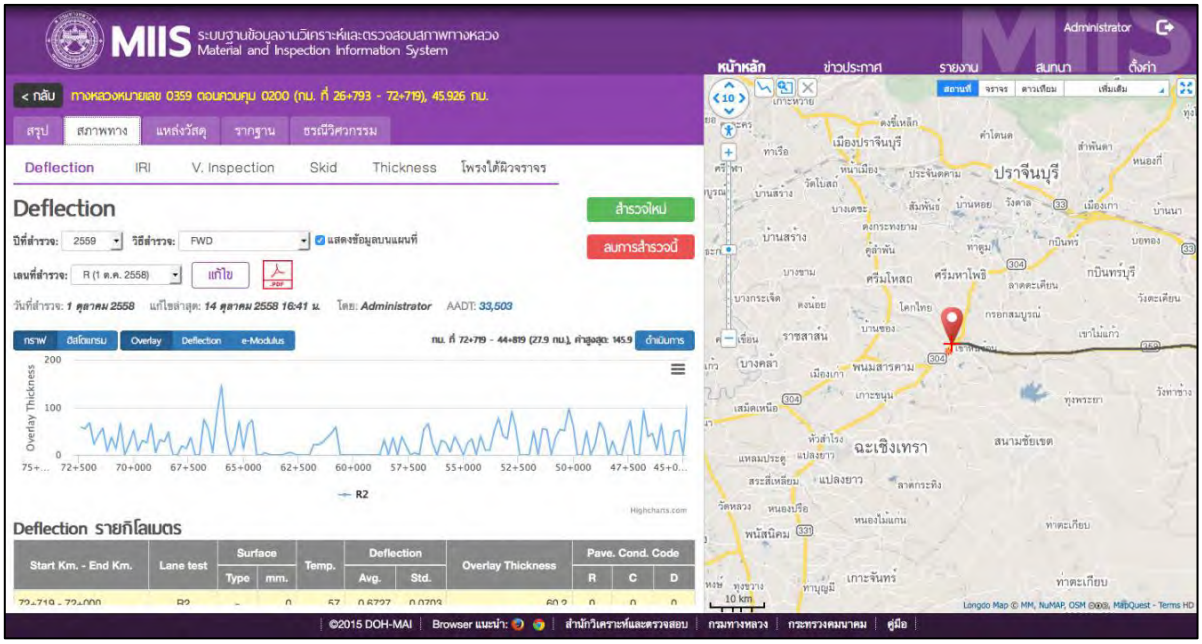


รูปที่ 2-67 ตัวอย่างหน้าจอการกรอกข้อมูลในหน้าสรุป

เมื่อเลือก Tab ข้อมูลสำรวจที่ต้องการแล้ว ระบบจะแสดงรายละเอียดของการสำรวจครั้งล่าสุดเป็นค่าเริ่มต้น ดังรูปตัวอย่างแบบตัวอย่างหน้าจอ ดังต่อไปนี้

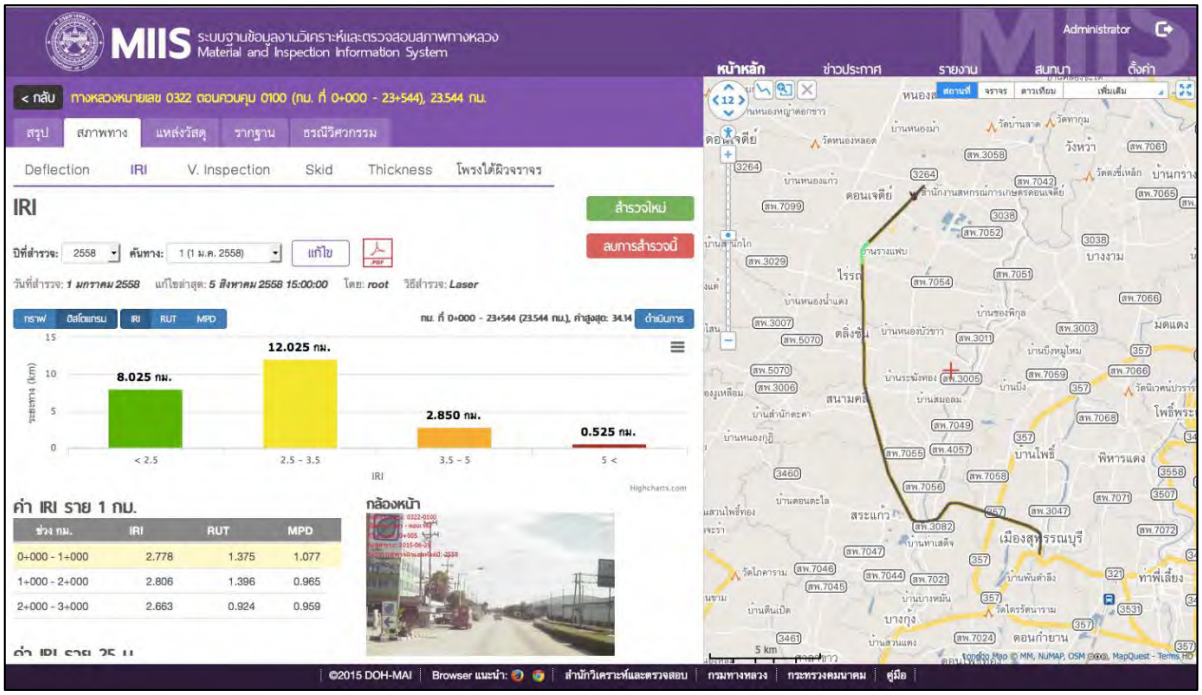
1. **การสำรวจและประเมินสภาพทาง**

- ค่า Deflection ภายในระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทางหลวง รองรับทั้งในส่วนของการนำเข้าข้อมูลจากเครื่องมือ FWD และเครื่องมือ BMB โดยมีตัวอย่างแสดงผลข้อมูลการสำรวจ แสดงดังรูปที่ 2-68



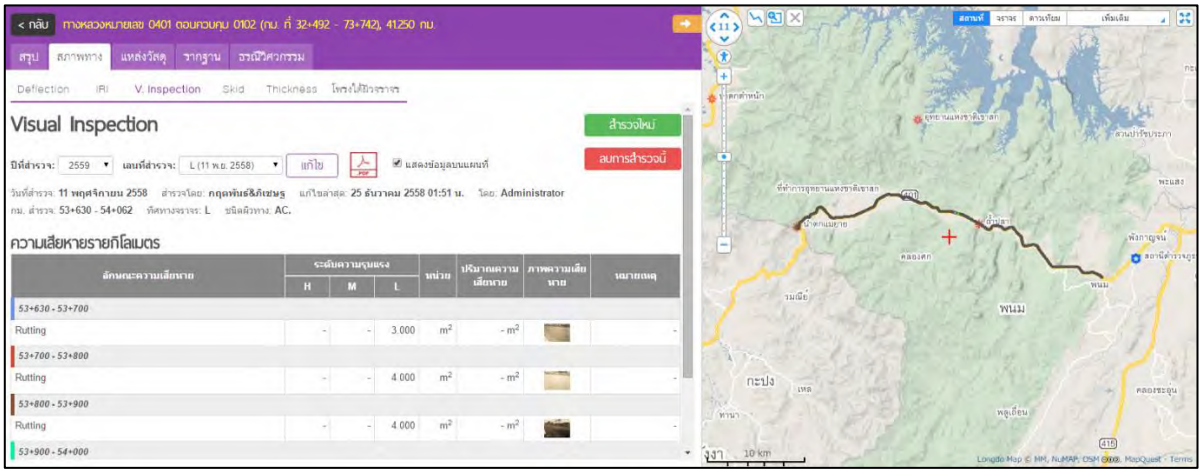
รูปที่ 2-68 ตัวอย่างหน้าจอแสดงค่าการสำรวจ Deflection

- ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ภายในระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทางหลวง รองรับทั้งในส่วนของการนำเข้าข้อมูลจากเครื่องมือ Laser Profilometer และเครื่องมือ Bump Integrator และภาพถ่ายผิวทาง แผนภูมิและตารางแสดงค่าการสำรวจ โดยการแสดงผลข้อมูลการสำรวจแสดงในรูปแผนภูมิแบบกราฟหรือแบบฮิสโตแกรม ตัวอย่างหน้าจอแสดงดังรูปที่ 2-69



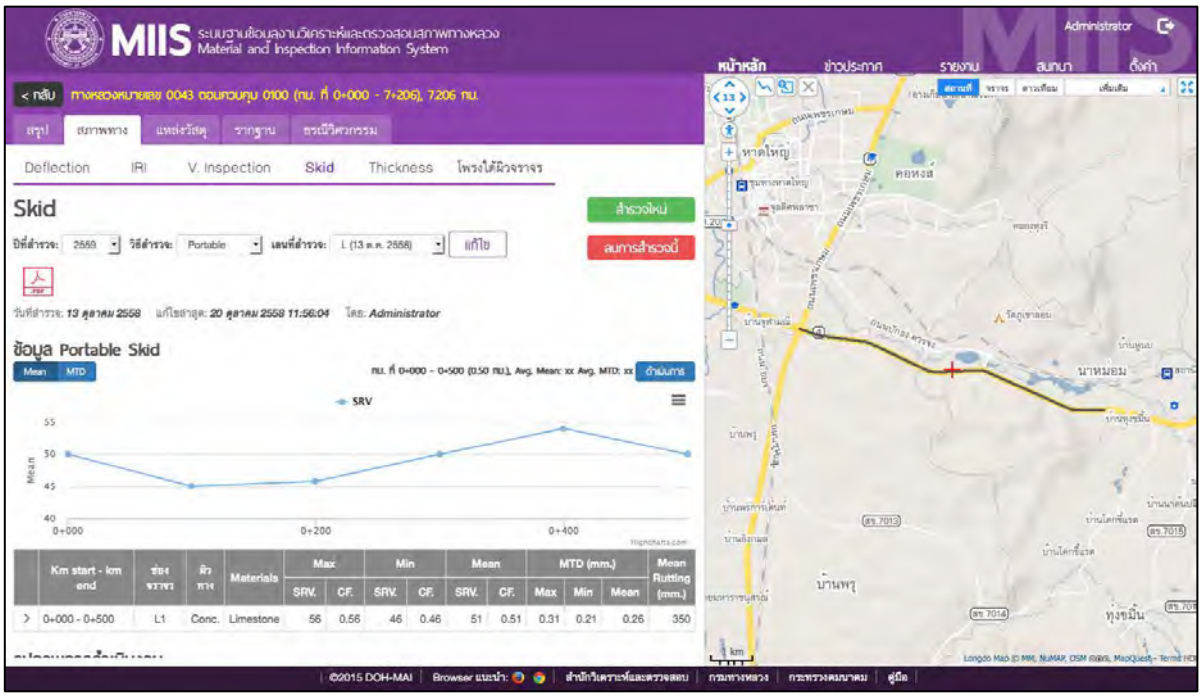
รูปที่ 2-69 ตัวอย่างหน้าแสดงกราฟแบบฮิสโตแกรม

- ข้อมูล Visual Inspection ภายในระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทางหลวง ซึ่งจะแสดงผลสรุปข้อมูลความเสียหายรายกิโลเมตร โดยตัวอย่างแสดงผลข้อมูล แสดงดังรูปที่ 2-70

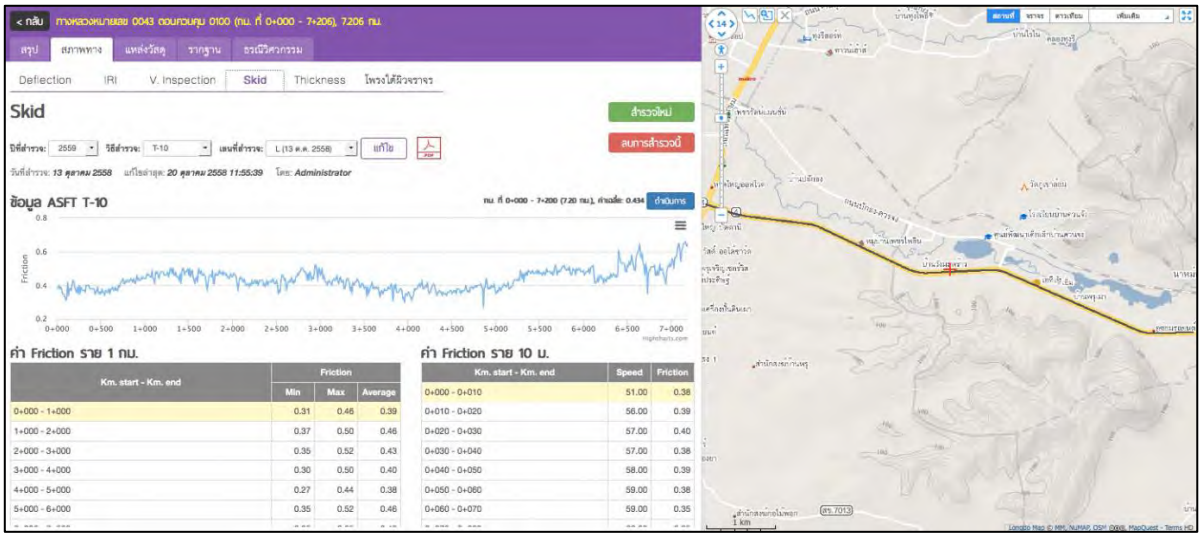


รูปที่ 2-70 ตัวอย่างหน้าจอสำหรับแสดงผลข้อมูล Visual Inspection

- ค่า Skid ภายในระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทางหลวง รองรับการแสดงผลและการนำเข้าข้อมูลทั้งในส่วนของเครื่องมือ Portable และ T-10 ตัวอย่างหน้าจอแสดงดังรูปที่ 2-71 และ รูปที่ 2-72

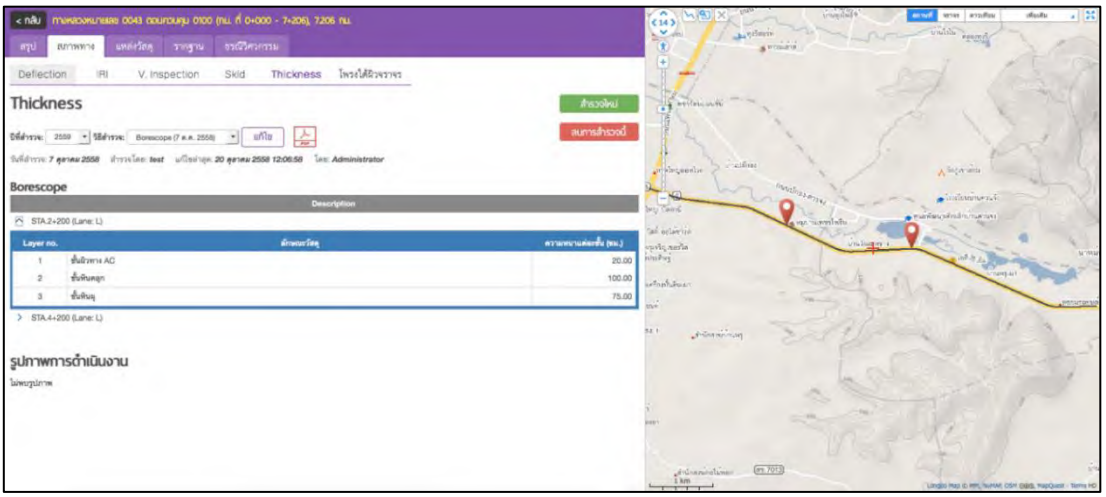


รูปที่ 2-71 ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลค่า Skid ซึ่งสำรวจโดยใช้เครื่องมือ Portable Skid Resistance

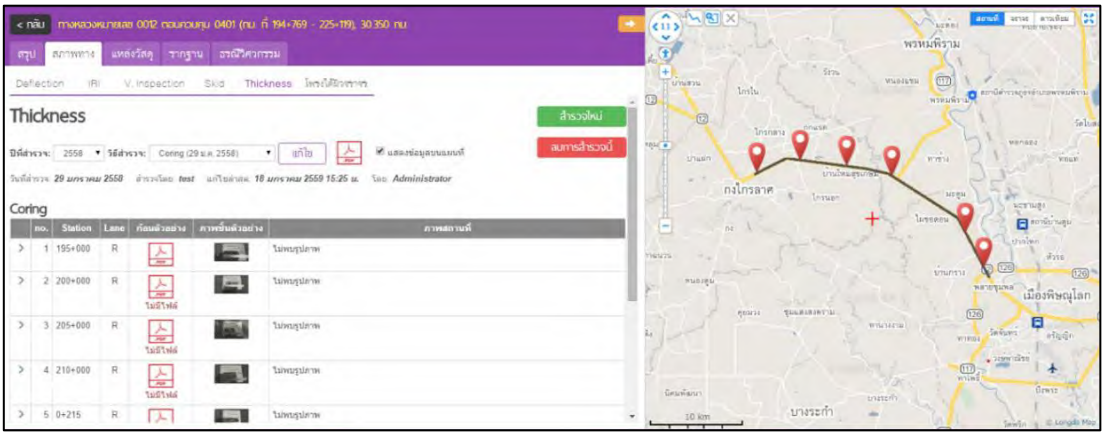


รูปที่ 2-72 ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลค่า Skid ซึ่งสำรวจโดยใช้เครื่องมือ ASFT T-10

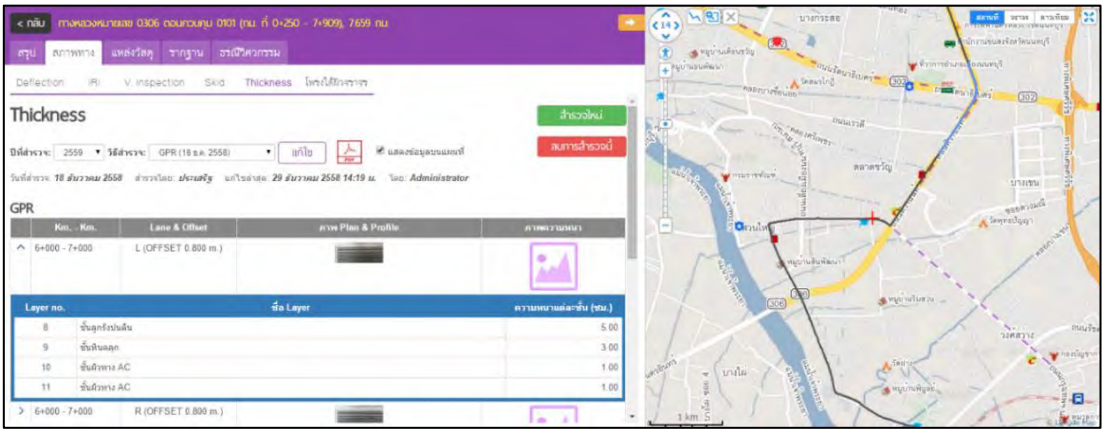
- ค่า Thickness ภายในระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทางหลวง รองรับการแสดงผลและการนำเข้าข้อมูลทั้งในส่วนของเครื่องมือ Borescope GPR และการ Coring ตัวอย่างหน้าจอแสดงดังรูปที่ 2-73 ถึง รูปที่ 2-75



รูปที่ 2-73 ตัวอย่างหน้าจอการสำรวจด้วยอุปกรณ์ Borescope

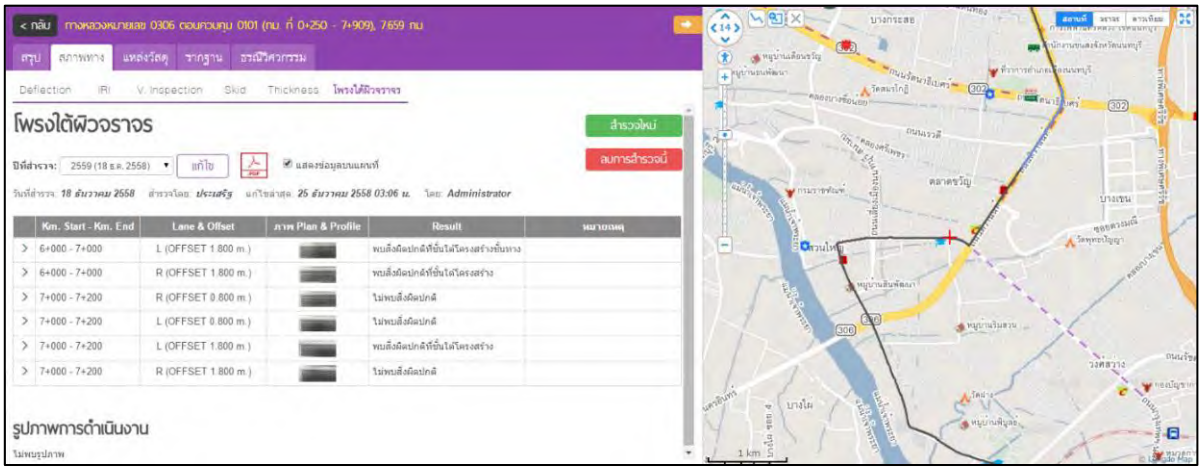


รูปที่ 2-74 ตัวอย่างหน้าจอการสำรวจด้วยการ Coring



รูปที่ 2-75 ตัวอย่างหน้าจอการสำรวจด้วยเครื่องมือ GPR

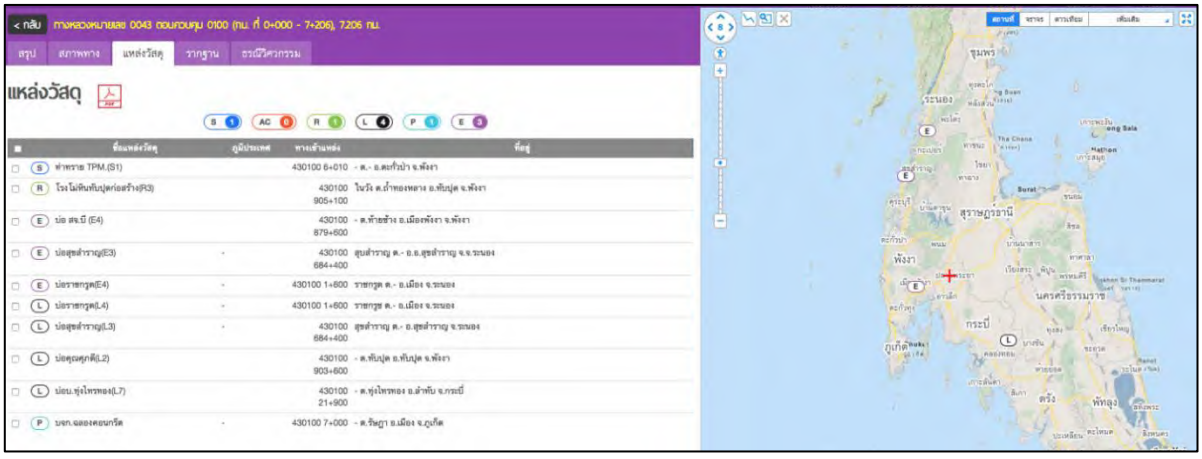
- การสำรวจโพรงภายใต้ผิวจราจรคอนกรีต ได้พัฒนาหน้าจอระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทางหลวง โดยมีรายละเอียดของภาพถ่ายและผลลัพธ์ของการสำรวจ ตัวอย่างแสดงผลการสำรวจ แสดงดังรูปที่ 2-76



รูปที่ 2-76 ตัวอย่างหน้าจอการสำรวจโพรงใต้ผิวจราจร

2. ข้อมูลสำรวจแหล่งวัสดุ

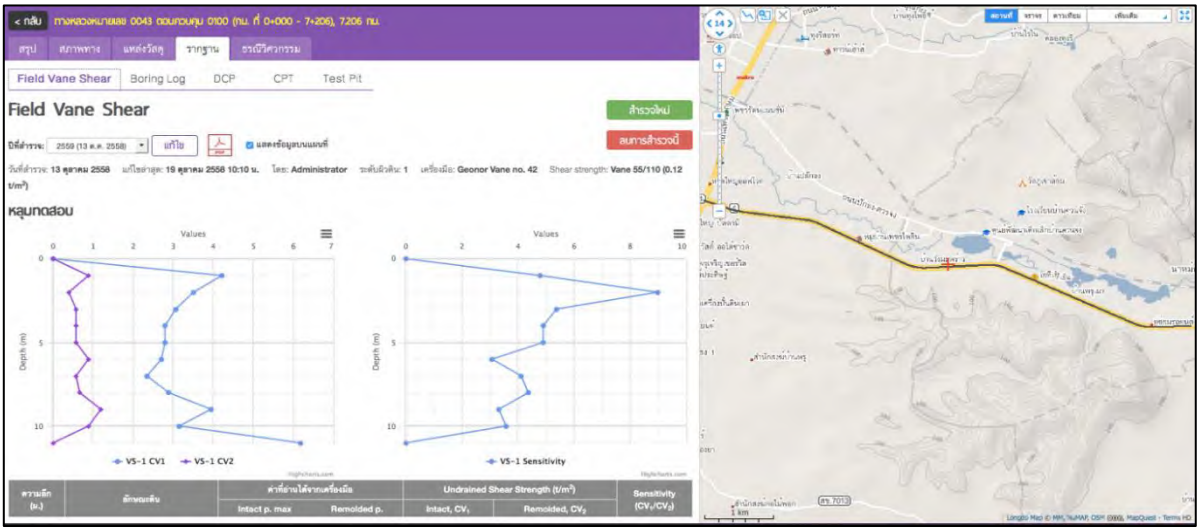
ระบบสารสนเทศข้อมูลแหล่งวัสดุของสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ระบบจะดึงข้อมูลแหล่งวัสดุโดยรอบสายทางที่สนใจ เพื่อรองรับสำหรับการส่งออกข้อมูลเพื่อจัดทำรายงานแผนที่แนะนำแหล่งวัสดุก่อสร้างทาง ตัวอย่างหน้าจอแสดงดังรูปที่ 2-77



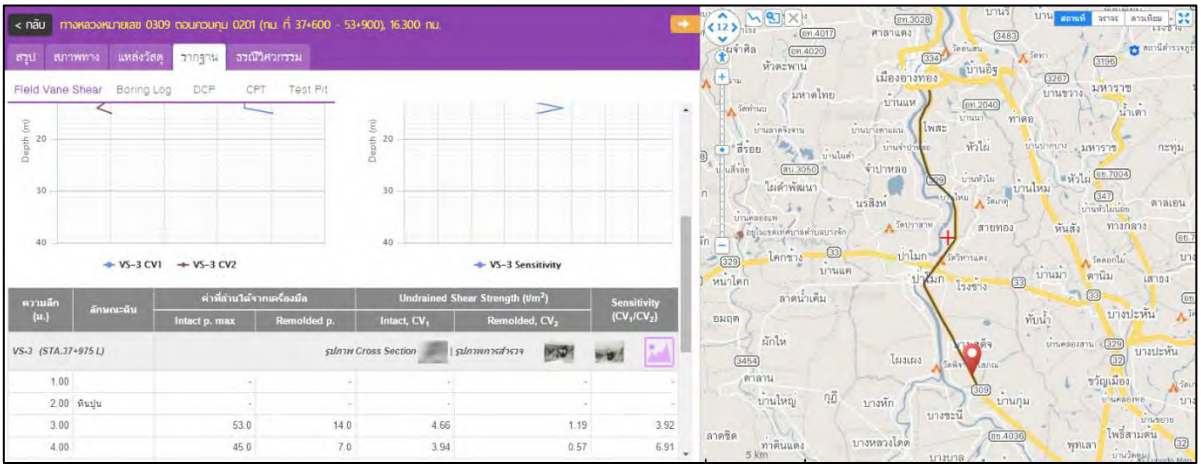
รูปที่ 2-77 ตัวอย่างหน้าจอข้อมูลสำรวจแหล่งวัสดุ

3. งานสำรวจรากฐาน

- Field Vane Shear หน้าจอสำหรับการแสดงผล จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการแสดงกราฟการทดสอบ ตัวอย่างหน้าจอแสดงดังรูปที่ 2-78 และในส่วนของตารางซึ่งแสดงข้อมูลที่กรอกเข้าสู่ระบบ แสดงดังรูปที่ 2-79

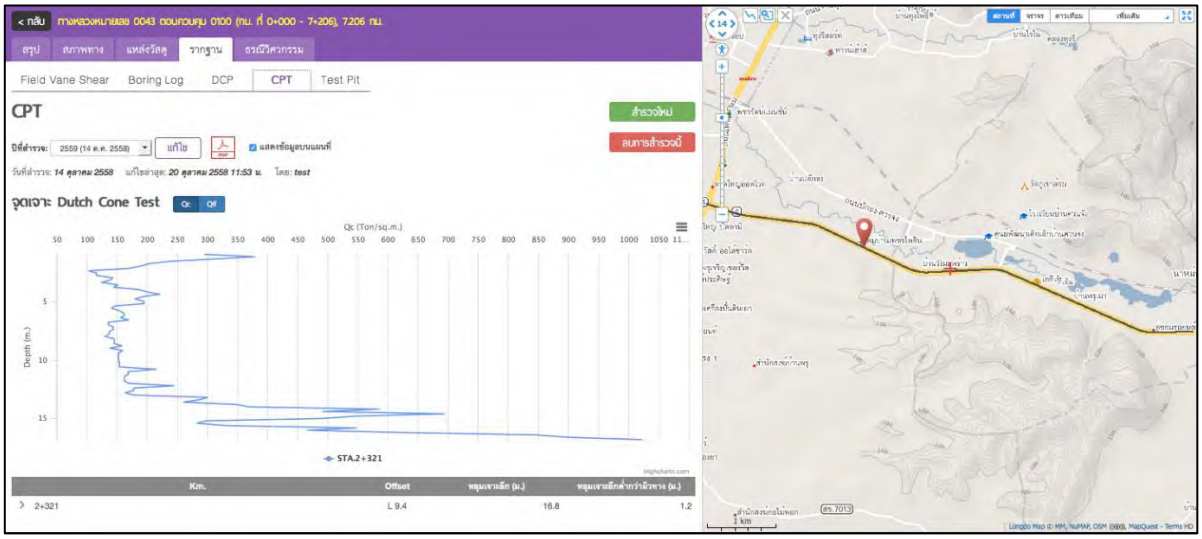


รูปที่ 2-78 ตัวอย่างหน้าจอแสดงแผนภูมิการทดสอบ Field Vane Shear



รูปที่ 2-79 ตัวอย่างหน้าจอแสดงข้อมูลการทดสอบ Field Vane Shear

- การทดสอบ Cone Penetration Test (CPT) ได้พัฒนาหน้าจอสำหรับการแสดงผลข้อมูลที่กรอกเข้าสู่ระบบในรูปแบบตาราง แสดงดังรูปที่ 2-80 สำหรับหน้าจอในการนำเข้าข้อมูล จะเป็นลักษณะกรอกข้อมูลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งสามารถเพิ่มข้อมูลหลุมเจาะภาพถ่ายได้

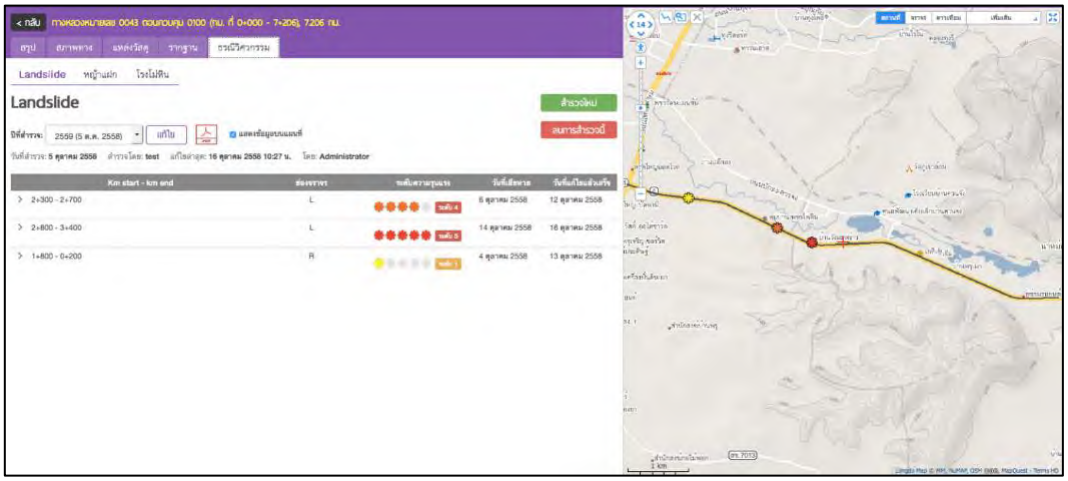


รูปที่ 2-80 ตัวอย่างหน้าจอการแสดงผลข้อมูล CPT

- ข้อมูล Test Pit หน้าจอมีการรองรับการสำรวจออกเป็น 4 ส่วน คือ การเจาะหาความหนาของชั้นดิน การทดสอบค่า DCP การทดสอบตัวอย่างวัสดุและการทดสอบและการนำเข้าข้อมูลภาพถ่ายของตัวอย่างและภาพถ่ายขณะปฏิบัติงาน

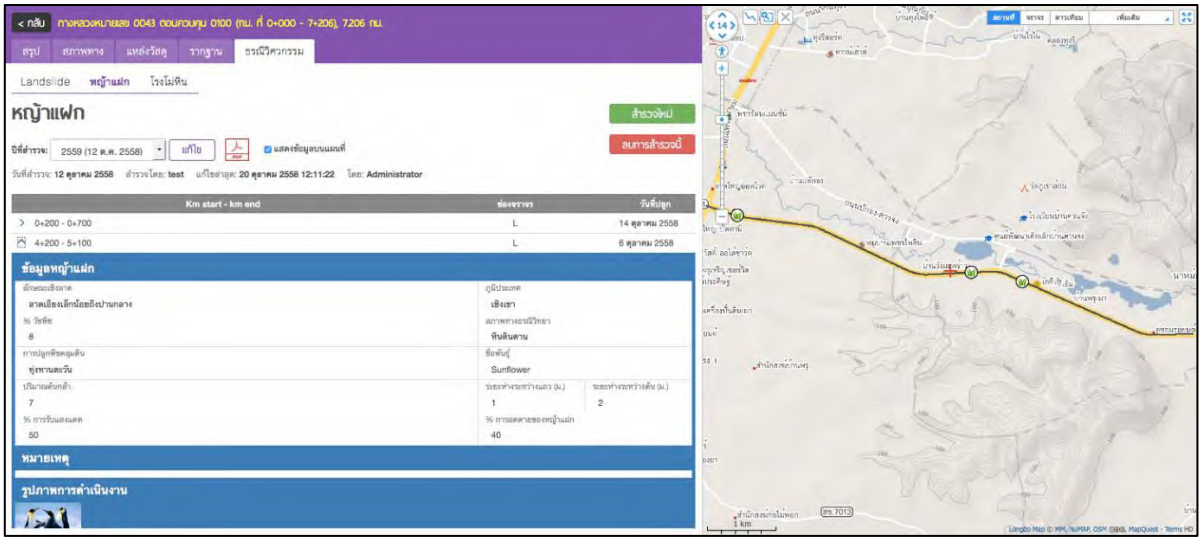
4. งานธรณีวิศวกรรม

- Land Slide ส่วนของหน้าจอสำหรับการแสดงผล แสดงดังรูปที่ 2-81 และสามารถระบุถึงระดับความรุนแรงของความเสียหาย



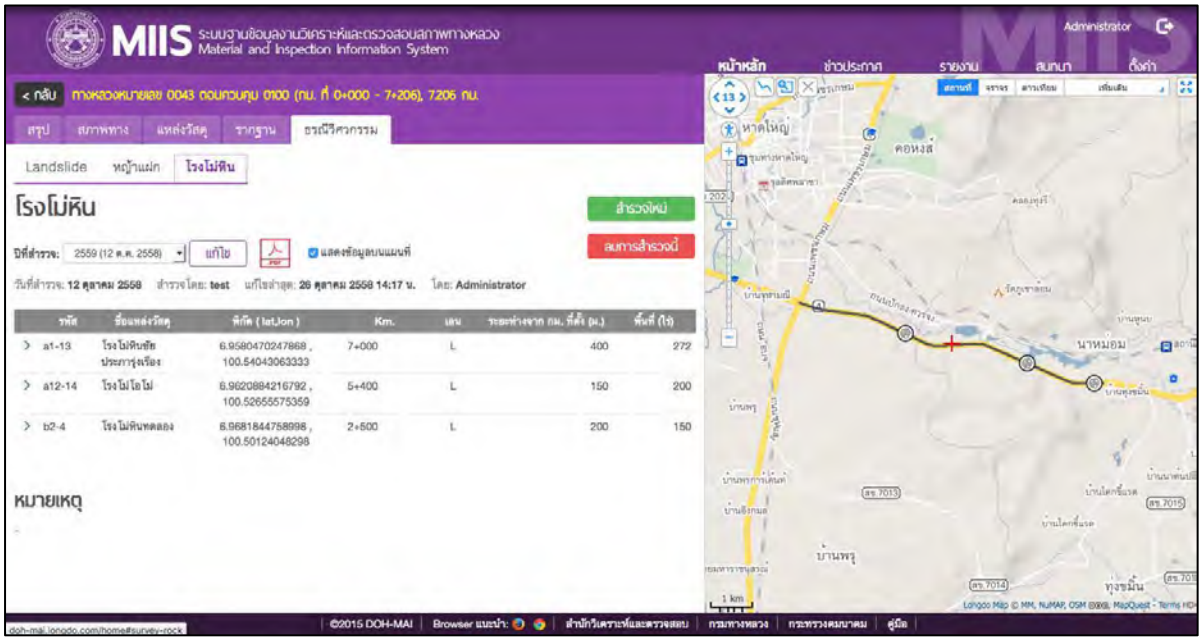
รูปที่ 2-81 ตัวอย่างหน้าจอแสดงข้อมูล Land Slide

- หญ้าแฝก ส่วนของหน้าจอสำหรับการแสดงผล แสดงดังรูปที่ 2-82



รูปที่ 2-82 ตัวอย่างหน้าจอแสดงข้อมูลหญ้าแฝก

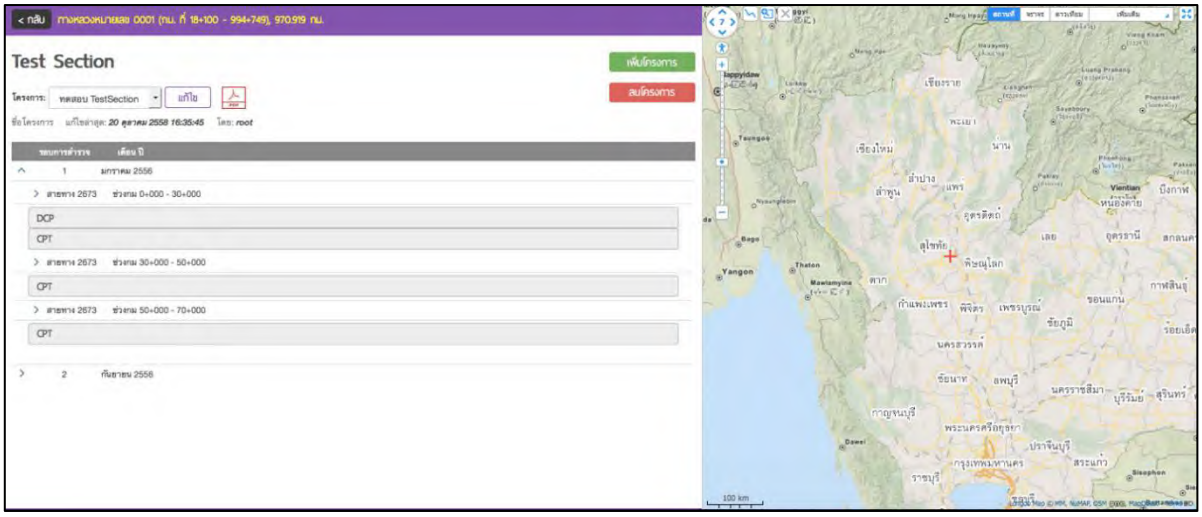
- โรงโม่หิน ส่วนของหน้าจอสำหรับการแสดงผล แสดงดังรูปที่ 2-83



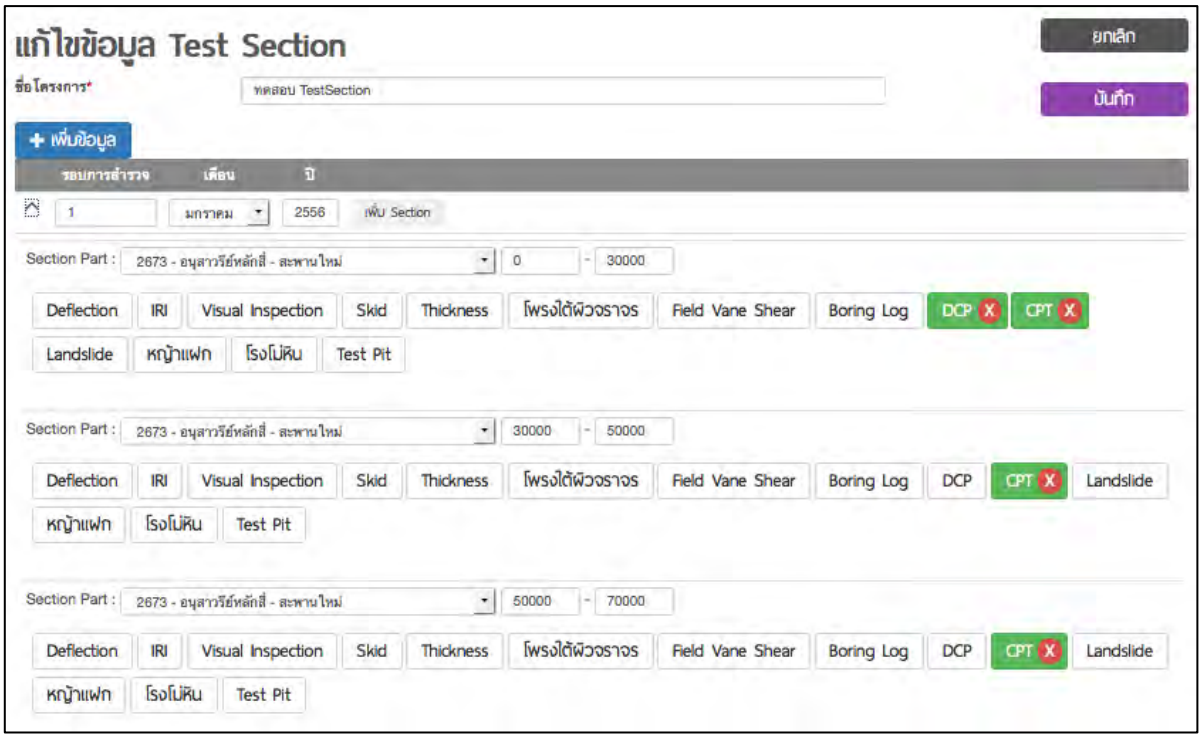
รูปที่ 2-83 ตัวอย่างหน้าจอแสดงข้อมูลโรงโม่หิน

5. ข้อมูล Test Section

เป็นหน้าจอสำหรับการนำเข้าข้อมูลการทดสอบ Test Section ตัวอย่างหน้าจอแสดงดังรูปที่ 2-84 และรูปที่ 2-85



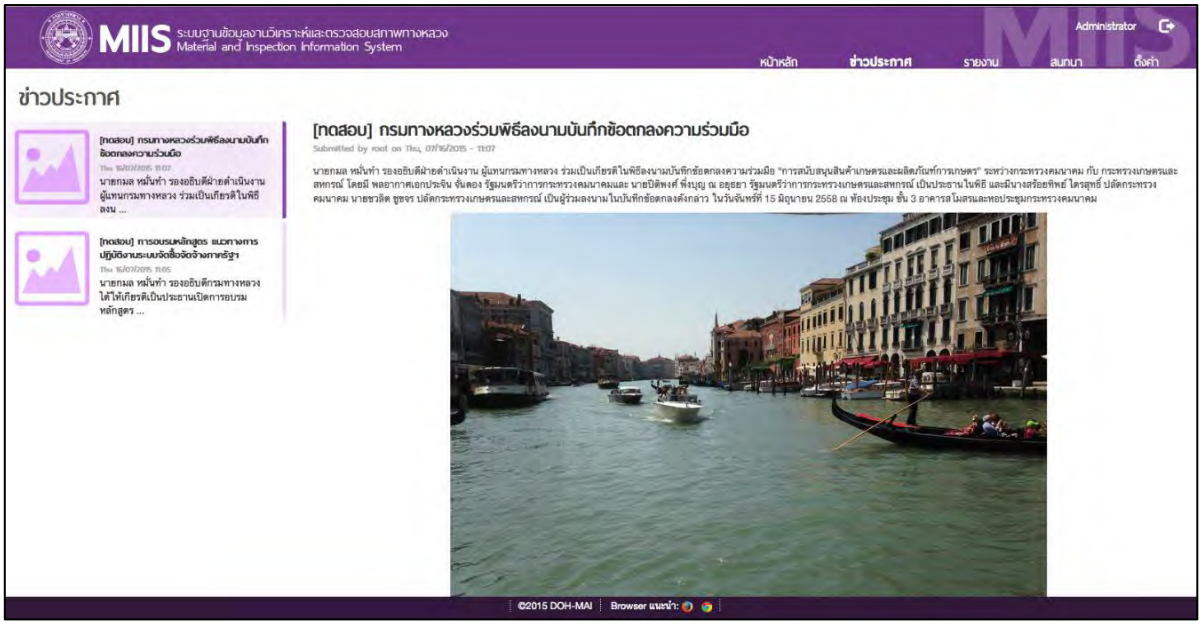
รูปที่ 2-84 ตัวอย่างหน้าจอสำหรับการแสดงผลข้อมูล Test Section



รูปที่ 2-85 ตัวอย่างหน้าจอสำหรับการนำเข้าข้อมูล Test Section

2) ข่าวประกาศ

ผู้ดูแลระบบสามารถประกาศข่าวประกาศ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทราบความคืบหน้าของการนำเข้าข้อมูล ตลอดจนข่าวสารต่าง ๆ ตัวอย่างข่าวประกาศ แสดงดังรูปที่ 2-86

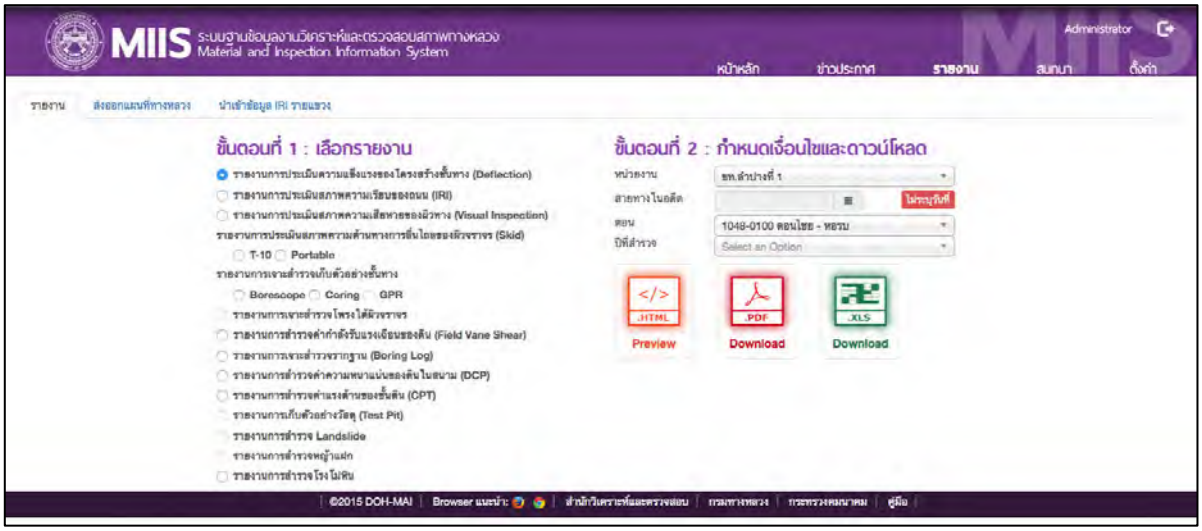


รูปที่ 2-86 ตัวอย่างหน้าจอแสดงรายละเอียดข่าวประกาศ

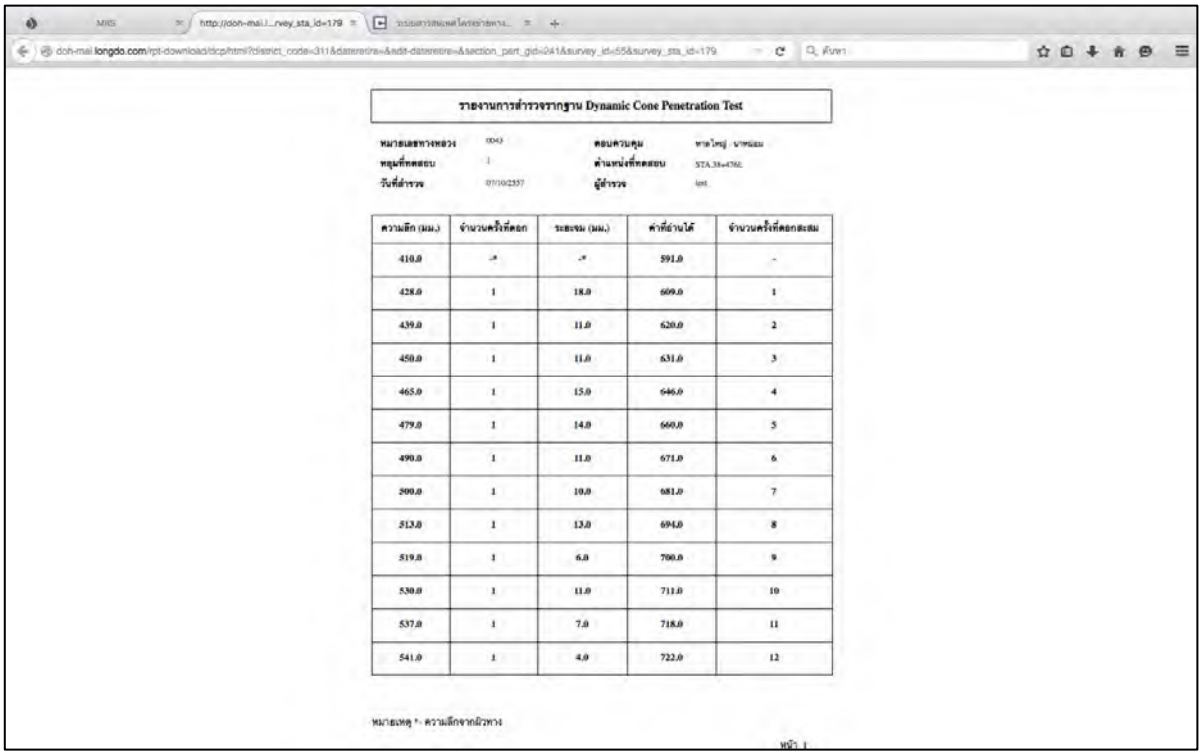
3) รายงาน

หน้าจอรายงานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2-87 ได้แก่

- ด้านซ้าย สำหรับแสดงหัวข้อรายงาน
- ด้านขวา สำหรับกำหนดเงื่อนไขและดาวน์โหลดหรือ Preview ไฟล์ แสดงดังรูปที่ 2-87



รูปที่ 2-87 ตัวอย่างหน้าจอสำหรับส่งออกรายงาน



รูปที่ 2-88 หน้าจอ Preview รายงาน

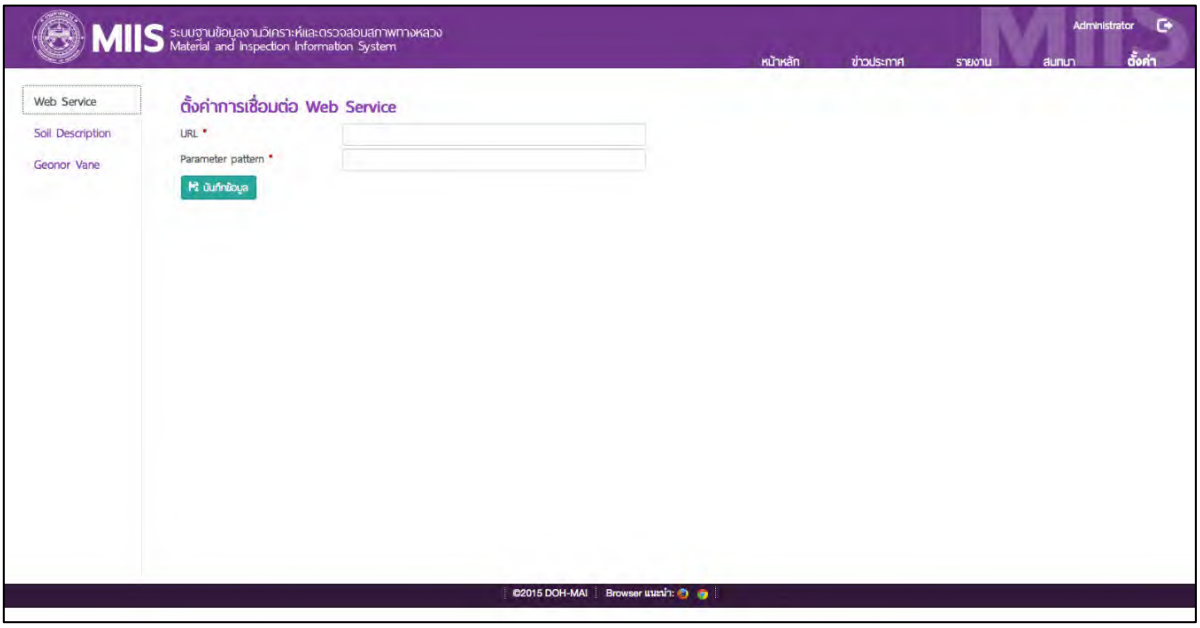
4) สนทนา

สำหรับตั้งกระทู้สนทนาสำหรับถาม - ตอบปัญหาการใช้งานระบบ

5) ตั้งค่า

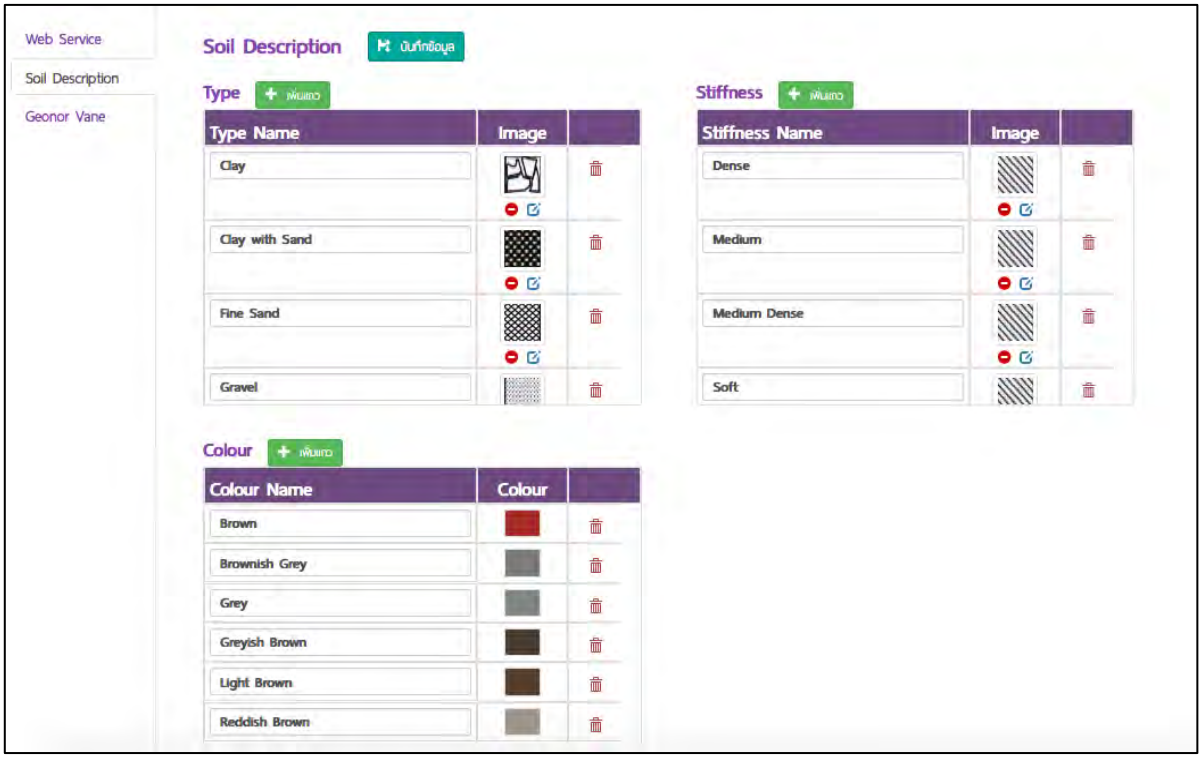
จะแสดงหัวข้อการตั้งค่าเป็น Tab ต่าง ๆ การตั้งค่าระบบออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- การตั้งค่าการเชื่อมต่อ Web Service สามารถเลือกหัวข้อที่ต้องการตั้งค่าแก้ไขข้อมูลและบันทึก หากค่าที่กรอกไม่ถูกต้อง ระบบจะแจ้งเตือนเพื่อให้กรอกข้อมูลให้ถูกต้อง เมื่อแก้ไขให้ถูกต้องแล้วให้กดปุ่ม “บันทึก” เพื่อทำการบันทึกค่าลงฐานข้อมูล หลังจากการบันทึกเสร็จสิ้น ผลการบันทึกจะแสดงที่ด้านบนของแบบฟอร์มว่าสำเร็จหรือไม่ ตัวอย่างหน้าจอ แสดงดังรูปที่ 2-89



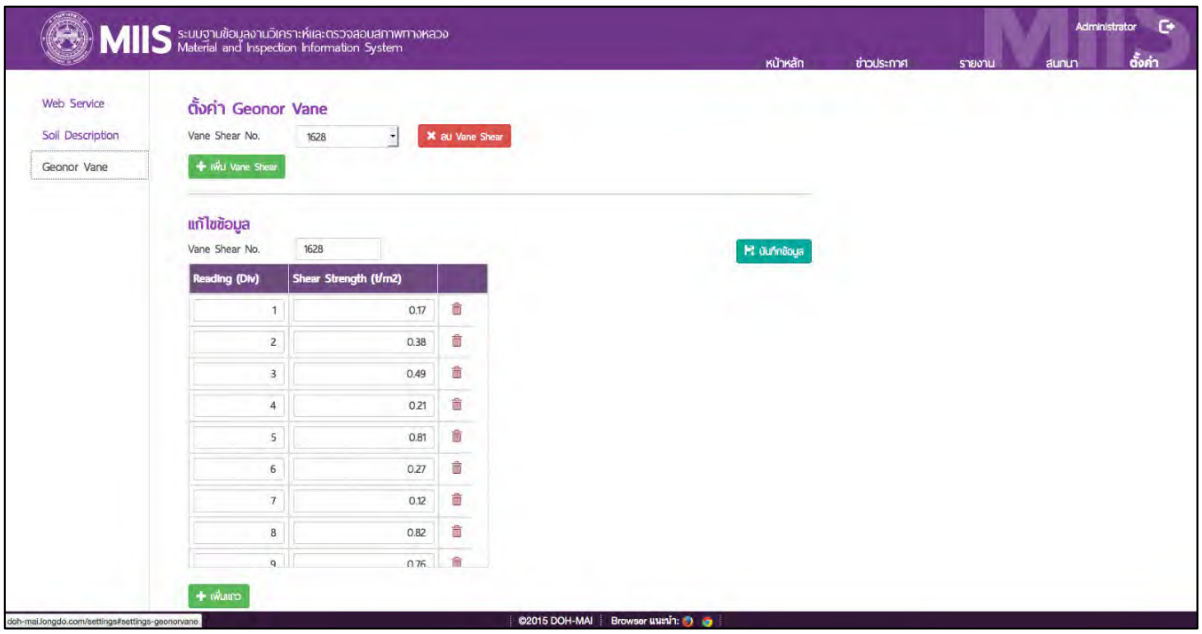
รูปที่ 2-89 ตัวอย่างหน้าจอตั้งค่า Web Service

- การตั้งค่า Soil Description สำหรับใช้ในงาน Boring Log โดยสามารถเลือกประเภทของดิน ค่า Stiffness และสีของดินแสดงดังรูปที่ 2-90



รูปที่ 2-90 ตัวอย่างหน้าจอการตั้งค่า Soil Description

- การตั้งค่าเครื่องมือ Genor Vane สำหรับใช้ในการทดสอบ Field Vane Shear ซึ่งสามารถกรอกค่า Shear Strength ที่ได้มีการสอบเทียบของแต่ละเครื่องมือไว้แสดงดังรูปที่ 2-91



รูปที่ 2-91 ตัวอย่างการตั้งค่าเครื่องมือ Genor Vane

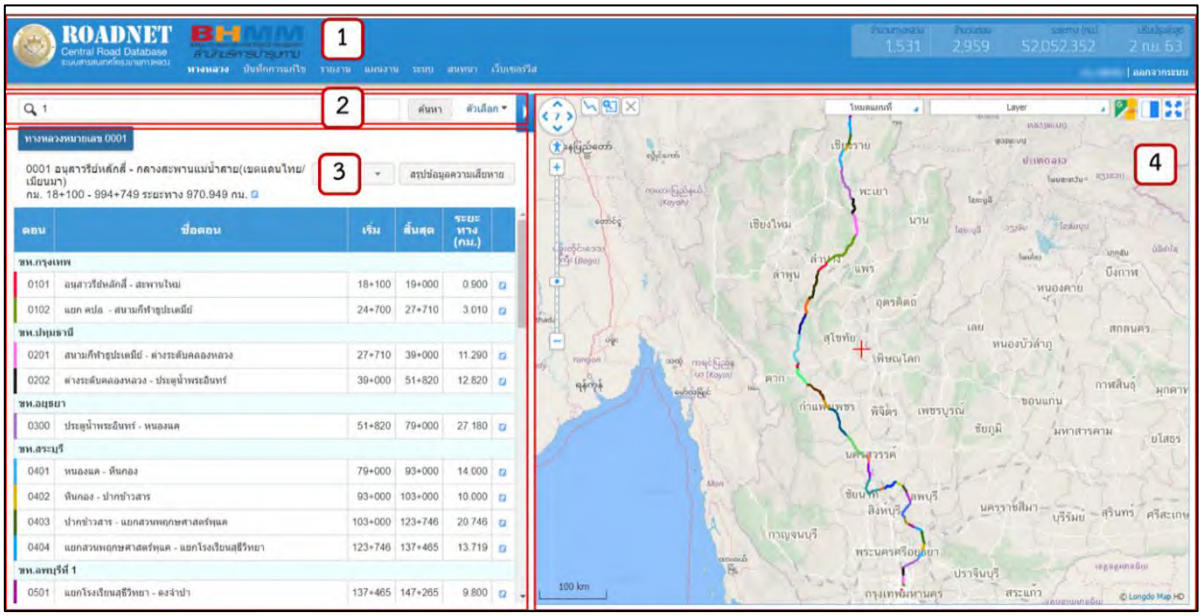
2.2.2 ระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (ROADNET) โดยสำนักบริหารบำรุงทาง ยกตัวอย่างเช่น ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ข้อมูลชนิดผิวทาง (Pavement Type) ค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) เป็นต้น

บทบาทของระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (RoadNet) คือ การจัดเก็บข้อมูลบัญชีสายทาง ข้อมูลลักษณะผิวทาง ข้อมูลโครงสร้างและกายภาพ ข้อมูลสำรวจสภาพทางต่าง ๆ ที่ได้มีการสำรวจโดยสำนักบริหารบำรุงทาง อันประกอบด้วย ข้อมูลดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI) ข้อมูลความลึกร่องล้อ (Rutting) ข้อมูลค่าเฉลี่ยความลึกโพรไฟล์ (Mean Profile Depth : MPD) และ ค่าความเสียดทานผิว (Skidding : μ) ตลอดจนข้อมูลสภาพความเสียหายประเภทต่าง ๆ ที่ได้จากการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลบนภาพถ่ายผิวทาง และมีการแสดงผลข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทาง (Road Asset view) ในรูปแบบของข้อมูลเชิงพื้นที่ ทำให้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจสภาพทางมีความชัดเจนเพิ่มมากขึ้น โดยแสดงภาพถ่าย 2 ข้างทาง ข้อมูลค่าความเสียหาย และตำแหน่งบนระบบแผนที่ควบคู่หรือสัมพันธ์กัน รวมถึงข้อมูลตำแหน่งของสะพาน ท่อลอด และข้อมูลหลักกิโลเมตร ซึ่งสามารถแสดงผลข้อมูลบนแผนที่บนระบบเครือข่ายได้

ปัจจุบัน ระบบ RoadNet มีการประยุกต์ใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศ (GIS) มาวิเคราะห์และแสดงผลบนแผนที่ดิจิตอล (Digital Mapping) โครงข่ายทางหลวงอย่างเป็นมาตรฐานสากล สามารถใช้งานได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีความถูกต้อง เพื่อใช้ในการบริหารจัดการข้อมูลโครงข่ายสายทางหลวง ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบงานบริหารบำรุงทางของกรมทางหลวง รองรับการใช้งานในวงกว้าง ทั้งในส่วนของภาครัฐ ภาคเอกชน รวมไปถึงภาคประชาชนในการค้นหาเส้นทางบนอินเทอร์เน็ต โดยเฉพาะอย่างยิ่งหน่วยงานภายในกรมทางหลวง ไม่ว่าจะเป็นสำนักงานทางหลวง แขวงทางหลวง และหมวดทางหลวง ได้มีการใช้งานระบบอย่างต่อเนื่อง ทั้งในส่วนของการตรวจสอบนำเข้า และแก้ไขข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย มีระบบแสดงแผนที่พร้อมรายละเอียดข้อมูลอย่างชัดเจน ทำให้สำนักบริหารบำรุงทางสามารถรายงานสรุปข้อมูลให้แก่ผู้บริหารจากหน่วยงานส่วนภูมิภาคได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และตรงตามความต้องการ

ภาพรวมการใช้งานระบบ RoadNet มีการออกแบบให้มีลักษณะการใช้งานที่เรียบง่าย มีลำดับขั้นตอนการแสดงผลข้อมูล เชื่อมโยงความสัมพันธ์กันระหว่างกลุ่มข้อมูล มีองค์ประกอบ 4 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่

1) ส่วนแสดงผลชื่อและภาพลักษณ์องค์กร
2) ส่วนเครื่องมือสืบค้นข้อมูล
3) ส่วนแสดงผลรายละเอียดข้อมูลในรูปแบบรายงาน
4) ส่วนแสดงผลแผนที่



รูปที่ 2-92 หน้าหลักระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (RoadNet)

หน้าจอหลักของระบบ RoadNet ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ซึ่งมีวัตถุประสงค์และรายละเอียดดังนี้

1) ส่วนแสดงผลชื่อและภาพลักษณ์องค์กร

แสดงสัญลักษณ์ของกรมทางหลวง สำนักบริหารบำรุงทาง และชื่อของระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง รวมถึงแสดงส่วนสรุปข้อมูลจำนวนทางหลวง จำนวนตอนควบคุม ระยะทางจริง (กม.) และวันที่การปรับปรุงข้อมูลล่าสุด เป็นต้น

2) ส่วนเครื่องมือสืบค้นข้อมูล

การสืบค้นข้อมูลในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง มีการออกแบบฟังก์ชันการทำงานให้ใช้งานได้สะดวก รวดเร็ว โดยมีการเรียงลำดับการสืบค้นข้อมูลเพื่อไม่ให้ผู้ใช้งานสับสนการเข้าถึงข้อมูลแต่ละกลุ่มนั้น ผู้ใช้จะต้องเลือกเงื่อนไขการสืบค้นข้อมูลตามที่ระบบได้ออกแบบไว้ โดยการกำหนดเงื่อนไขนั้น ที่ปรึกษาได้สรุปเงื่อนไขตามความต้องการของผู้ใช้งานจริง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ ฟังก์ชันการสืบค้นข้อมูลแบบทั่ว ๆ ไป และฟังก์ชันการสืบค้นข้อมูลแบบขั้นสูง เพื่อเข้าถึงข้อมูลแต่ละกลุ่ม เช่น ข้อมูลบัญชีสายทาง ข้อมูลบัญชีลักษณะผิวทางข้อมูลโครงสร้างและกายภาพ และข้อมูลการสำรวจสภาพทาง เป็นต้น

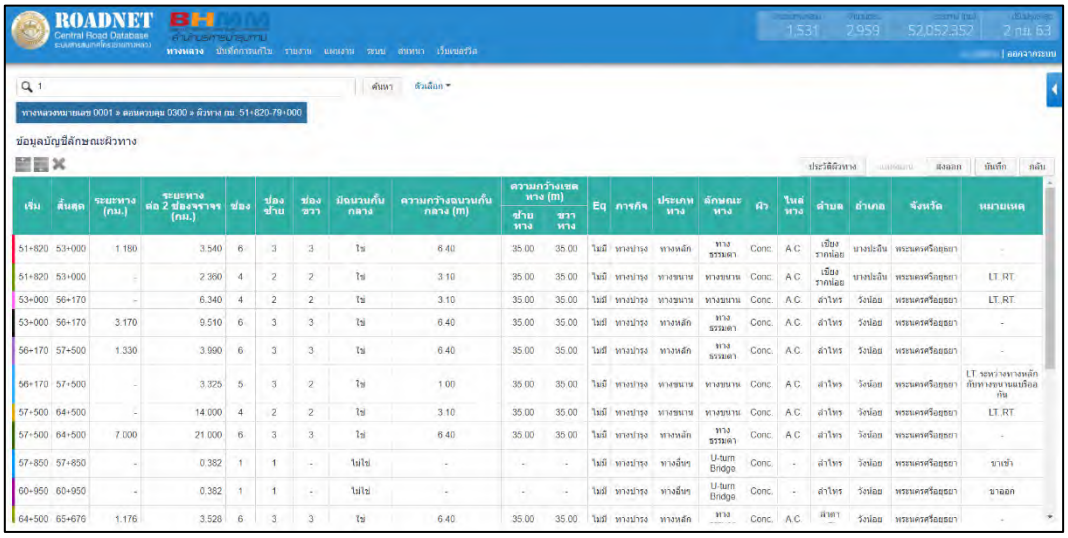
3) ส่วนแสดงผลรายละเอียดข้อมูลในรูปแบบรายงาน

ในส่วนของการออกรายงานนั้น ระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวงได้จัดเตรียมข้อมูลไว้ 3 ส่วน คือ ข้อมูลเชิงสถิติงานทาง การพิมพ์แผนที่ทางหลวง และข้อมูลการสำรวจสภาพทาง ซึ่งผู้ใช้สามารถออกรายงานได้ 3 รูปแบบ คือ PDF, CSV และ HTML

4) ส่วนแสดงผลแผนที่

ส่วนแสดงผลแผนที่ใช้สำหรับแสดงข้อมูลเชิงตำแหน่ง ได้แก่ ข้อมูลบัญชีสายทาง ข้อมูลบัญชีผิวทาง ข้อมูลการสำรวจสภาพทาง (IRI, Rutting, MPD-Texture) ข้อมูลช่องจราจร ข้อมูลตำแหน่งสะพาน และตำแหน่งท่อ ข้อมูลตำแหน่งหลักกิโลเมตร (Kilometer Point) ข้อมูลขอบเขตการปกครอง FGDS กระทรวงคมนาคม เป็นต้น

ข้อมูลบัญชีลักษณะผิวทาง บนระบบ RoadNet ได้แสดงรายละเอียดของข้อมูลลักษณะผิวทาง เช่น ข้อมูลประเภททาง ซึ่งมีรายละเอียดแยกย่อยไปอีก ได้แก่ ข้อมูลประเภททางที่เป็นทางหลัก และข้อมูลประเภททางที่เป็นทางขนาน ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ กรอกข้อมูลโดยผู้ดูแลในหน่วยงานภายในพื้นที่นั้น



รูปที่ 2-93 หน้ารายละเอียดข้อมูลลักษณะผิวทาง

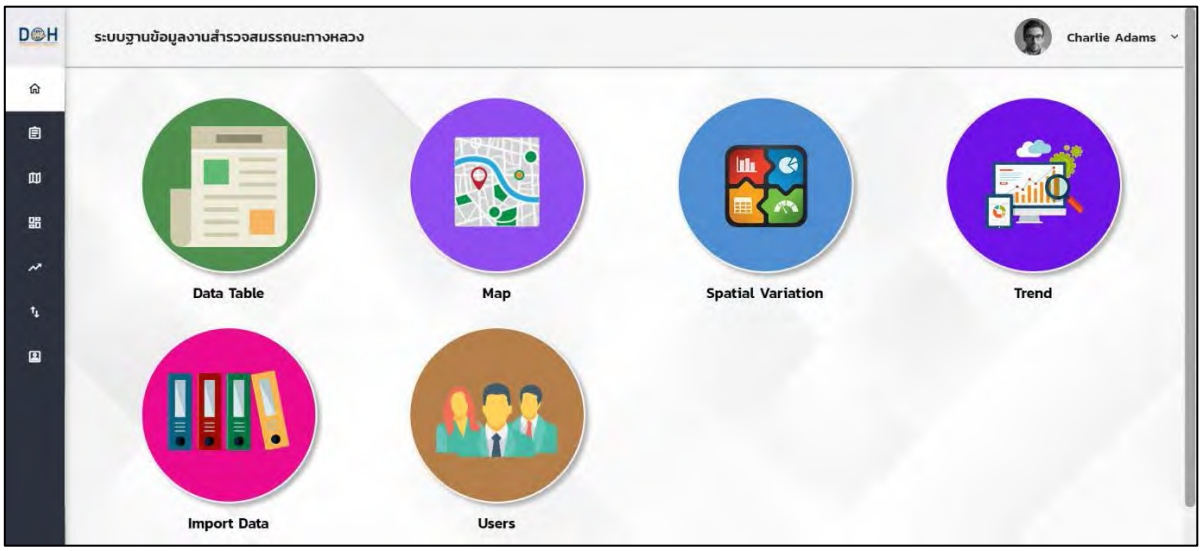
ข้อมูลดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI) ข้อมูลความลึกร่องล้อ (Rutting) ข้อมูลค่าเฉลี่ยความลึกโพรไฟล์ (Mean Profile Depth : MPD) และค่าความเสียดทานผิว (Skidding : μ) ตลอดจนข้อมูลสภาพความเสียหายประเภทต่าง ๆ ที่ได้จากการสำรวจ



รูปที่ 2-94 หน้ารายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

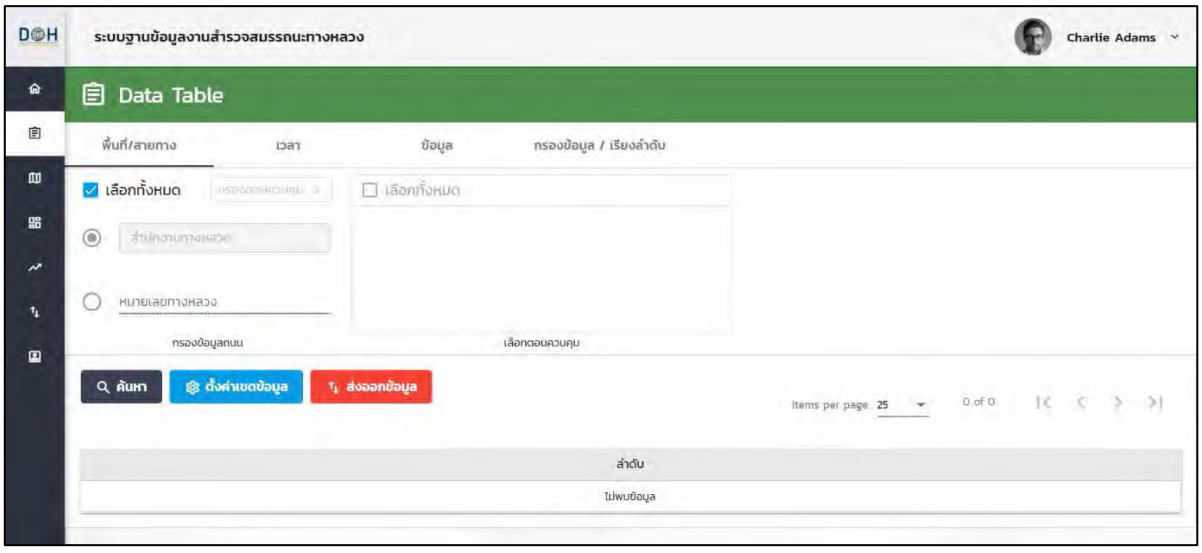
2.2.3 ระบบฐานข้อมูลสมรรถนะทางหลวง (iPAVEs) โดยสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง ยกตัวอย่างเช่น ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างถนน (Pavement Deflection) เป็นต้น

เมื่อเข้ามาที่ระบบจะแสดงหน้าหลักหน้านี้ ซึ่งประกอบไปด้วย Data Table, Map, Spatial Variation, Trend, Import Data และ Users



รูปที่ 2-95 หน้าหลักของระบบฐานข้อมูลสมรรถนะทางหลวง

1) Data Table เมื่อกดเลือก “Data Table” จะแสดงหัวข้อในการค้นหาข้อมูลในรูปแบบของแท็บประกอบด้วย แท็บพื้นที่/สายทาง, แท็บเวลา, แท็บข้อมูล และแท็บกรองข้อมูล/เรียงลำดับ



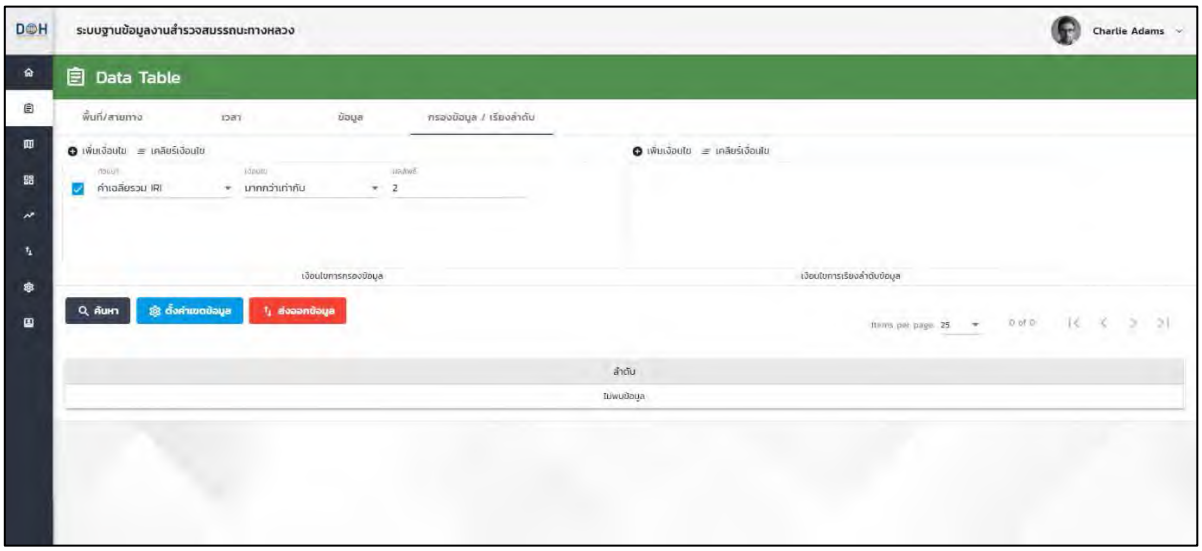
รูปที่ 2-96 หน้าจอแสดงการเลือกแท็บพื้นที่/สายทาง



รูปที่ 2-97 หน้าจอแสดงแท็บเวลา

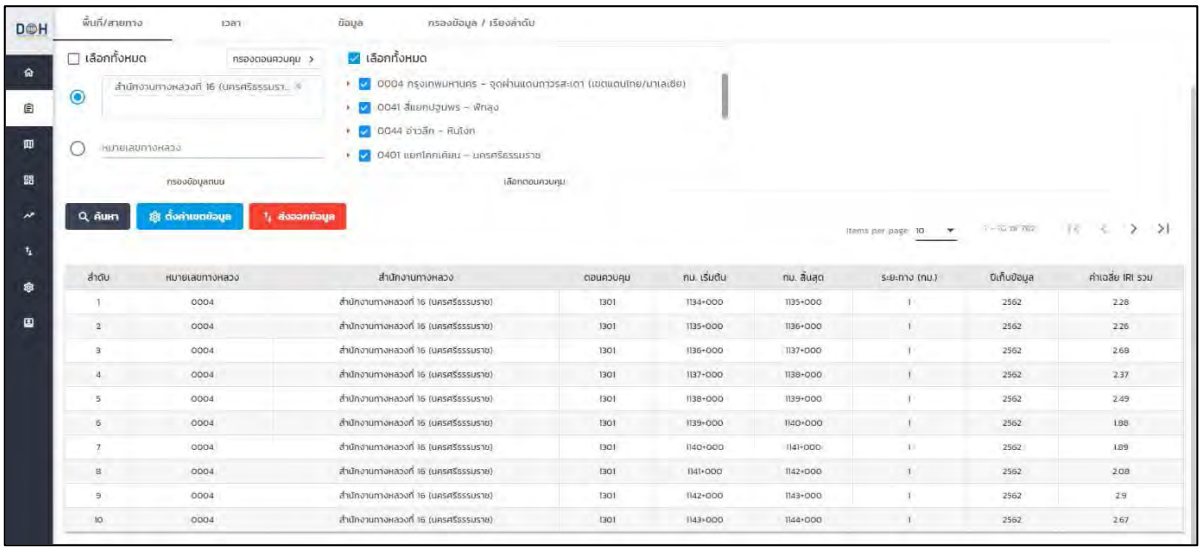


รูปที่ 2-98 หน้าจอแสดงแท็บข้อมูล



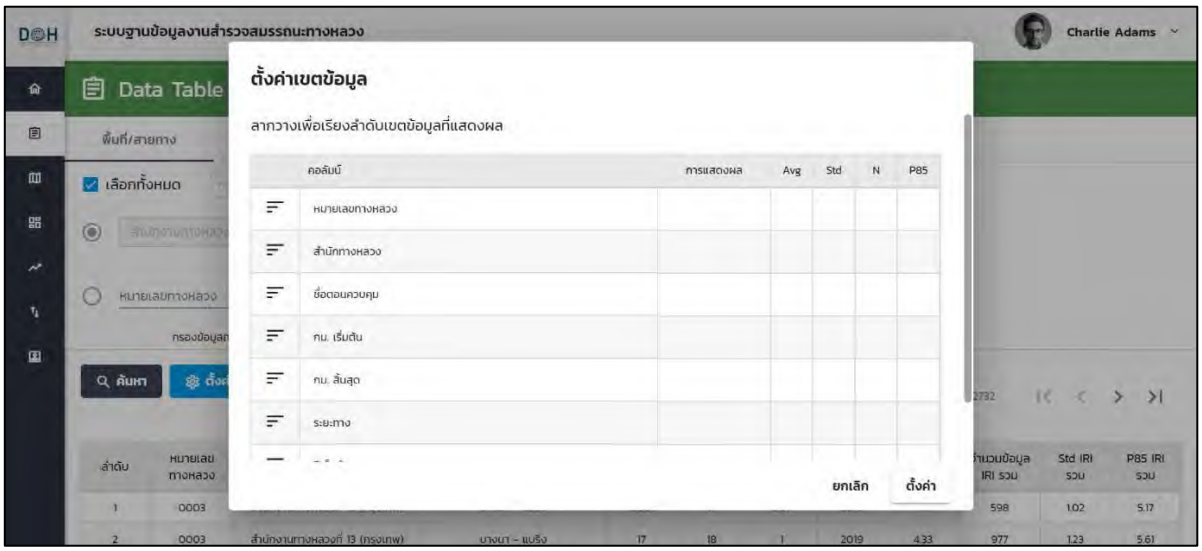
รูปที่ 2-99 หน้าจอแสดงแท็บกรองข้อมูล/เรียงลำดับ

เมื่อผู้ใช้งานทำการเลือกหัวข้อในการค้นหาข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการคลิกปุ่ม “ค้นหา” ระบบจะแสดงผลการค้นหาในรูปแบบตาราง แสดงดังรูปที่ 2-100



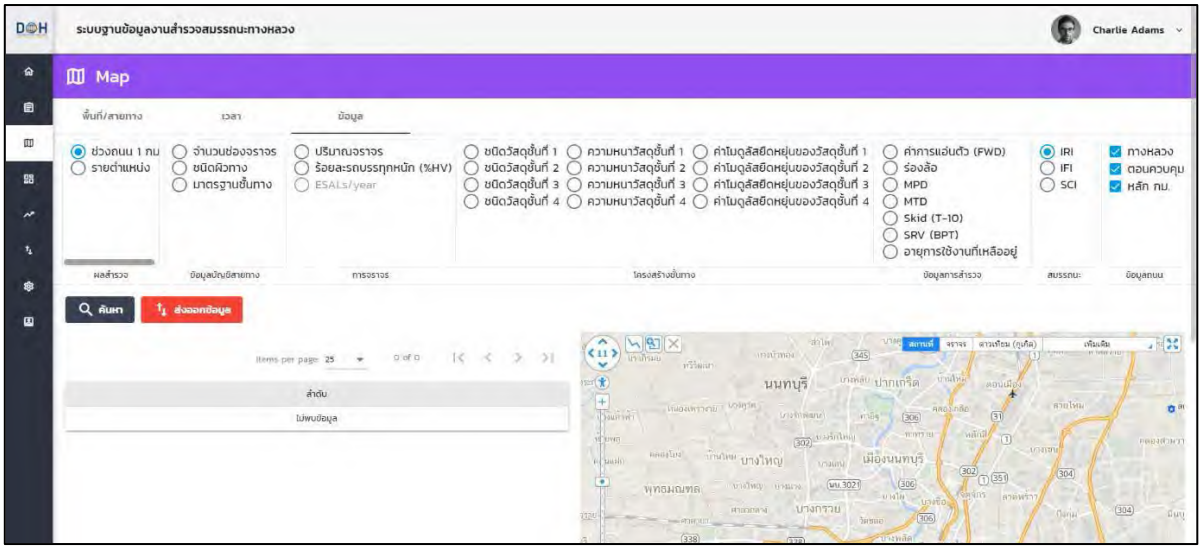
รูปที่ 2-100 หน้าจอแสดงผลการค้นหาข้อมูลในรูปแบบตาราง

การตั้งค่าเขตข้อมูล คือการจัดการคอลัมน์และการกำหนดการแสดงผล เมื่อคลิกปุ่ม “ตั้งค่าเขตข้อมูล” จะปรากฏหน้าจอแสดงดังรูปที่ 2-101 จัดการได้โดยลากและวางเพื่อเรียงลำดับเขตข้อมูลที่แสดงผล



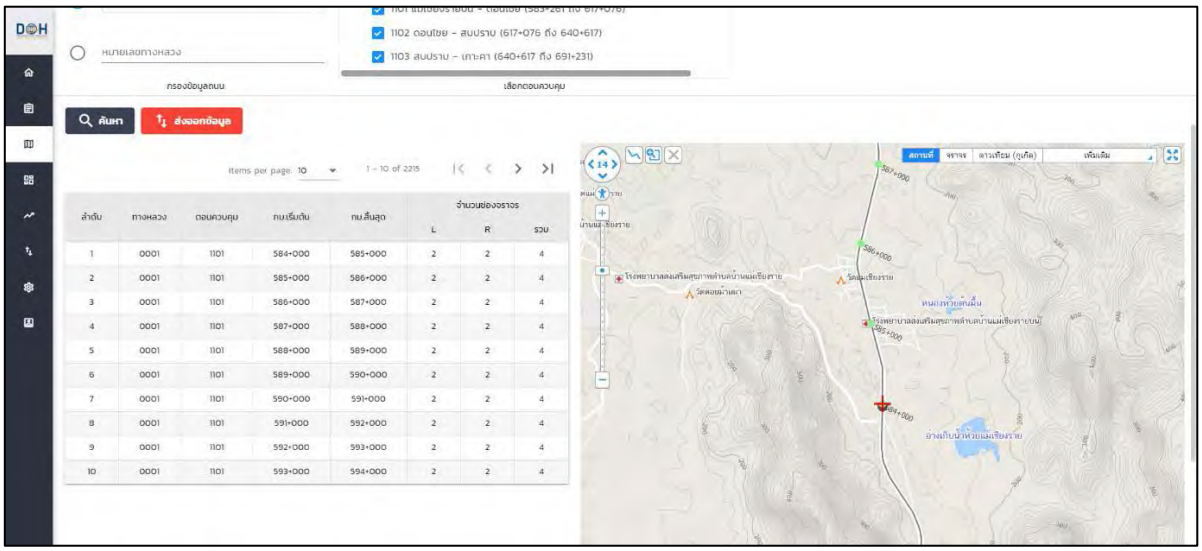
รูปที่ 2-101 หน้าจอการตั้งค่าเขตข้อมูล

2) Map เมื่อกดเลือก “Map” จะแสดงหัวข้อในการค้นหาข้อมูลในรูปแบบของแท็บ ประกอบด้วย แท็บพื้นที่/สายทาง, แท็บเวลา และแท็บข้อมูล ซึ่งแท็บพื้นที่/สายทาง และแท็บเวลามีหน้าจอทีคล้ายกับเมนู Data Table



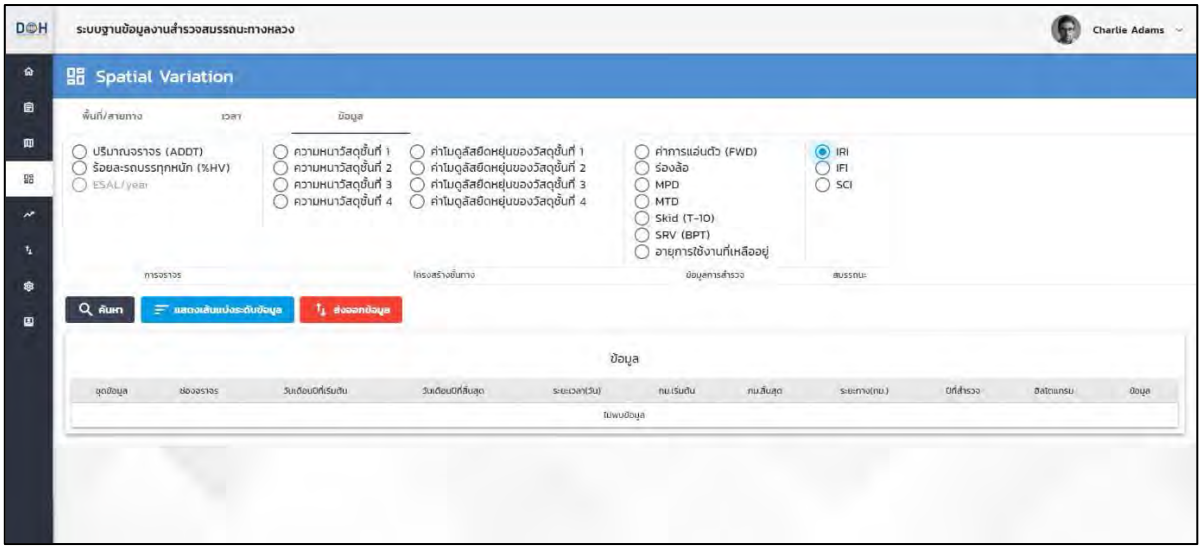
รูปที่ 2-102 หน้าจอแสดงแท็บข้อมูล

เมื่อทำการเลือกหัวข้อในการค้นหาข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการคลิกปุ่ม “ค้นหา” ระบบจะแสดงผลการค้นหาในรูปแบบแผนที่ แสดงดังรูปที่ 2-103



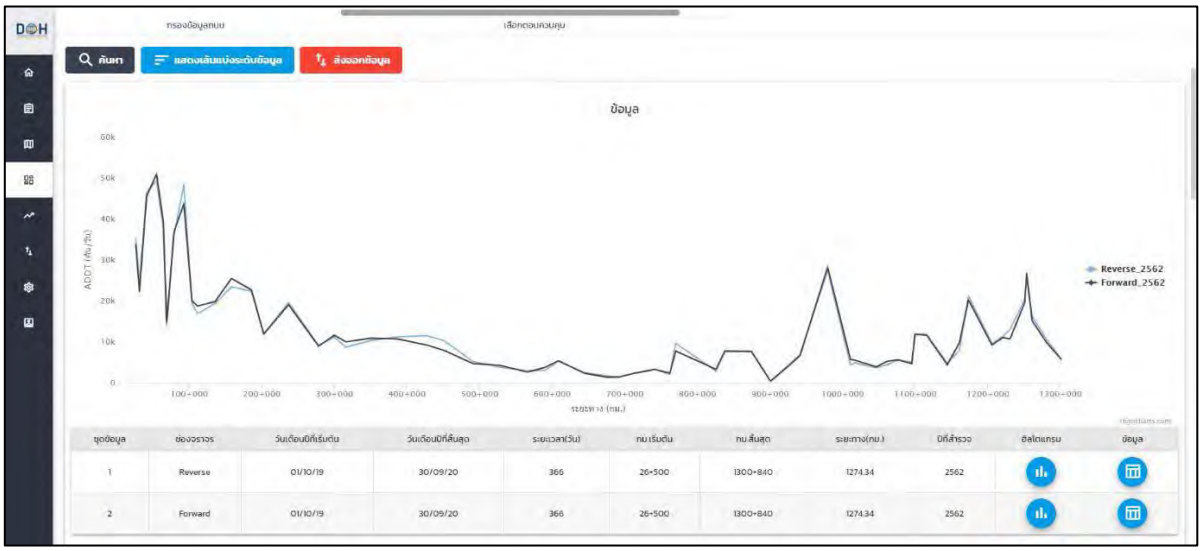
รูปที่ 2-103 หน้าจอแสดงผลข้อมูลรูปแบบแผนที่

3) Spatial Variation เมื่อกดเลือก “Spatial Variation” จะแสดงหัวข้อในการค้นหาข้อมูลในรูปแบบของแท็บประกอบด้วย แท็บพื้นที่/สายทาง, แท็บเวลา และแท็บข้อมูล ซึ่งแท็บพื้นที่/สายทางและแท็บเวลามีหน้าจอที่คล้ายกับเมนู Data Table



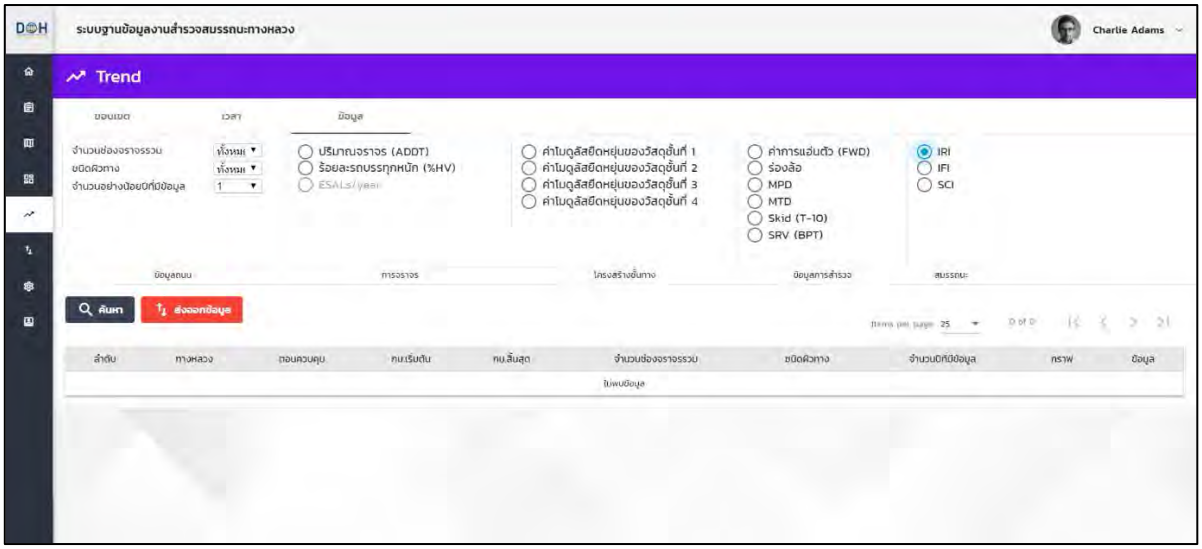
รูปที่ 2-104 หน้าจอแสดงแท็บข้อมูล

เมื่อทำการเลือกหัวข้อในการค้นหาข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการคลิกปุ่ม “ค้นหา” ระบบจะแสดงผลการค้นหาในรูปแบบ Spatial Variation และแบ่งการแสดงผลเป็นส่วนของข้อมูลและส่วนประวัติซ่อมบำรุงสามารถเลือกการแสดงรายละเอียดข้อมูลในรูปแบบฮิสโตแกรมและตารางได้



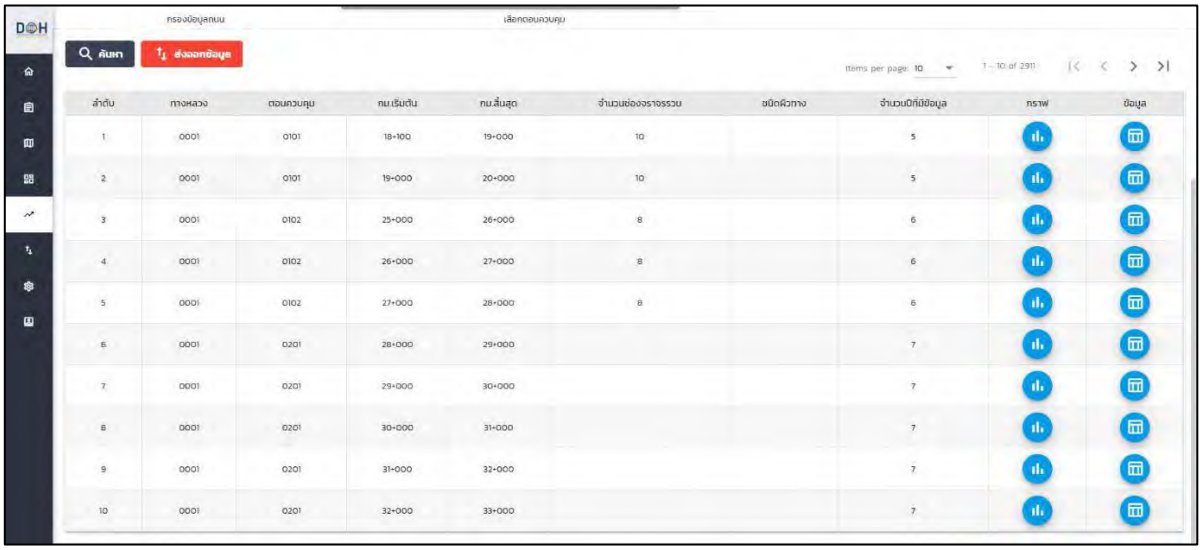
รูปที่ 2-105 หน้าจอแสดงผลการค้นหาข้อมูลรูปแบบ Spatial

4) Trend เมื่อกดเลือกจะแสดงหัวข้อในการค้นหาข้อมูลในรูปแบบของแท็บประกอบด้วย แท็บพื้นที่/สายทาง, แท็บเวลา และแท็บข้อมูล ซึ่งแท็บพื้นที่/สายทางและแท็บเวลา มีหน้าจอที่คล้ายกับเมนู Data Table



รูปที่ 2-106 หน้าจอแสดงแท็บข้อมูล

เมื่อผู้ใช้งานทำการเลือกหัวข้อในการค้นหาข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการคลิกปุ่ม “ค้นหา” ระบบจะแสดงผลการค้นหาในรูปแบบ Trend และสามารถเลือกการแสดงรายละเอียดข้อมูลในรูปแบบกราฟและตารางได้



รูปที่ 2-107 หน้าจอแสดงผลการค้นหา

2.2.4 ระบบสารสนเทศอุบัติเหตุบนทางหลวง (HAIMS) โดยสำนักอำนวยความปลอดภัย ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลจำนวนอุบัติเหตุ ข้อมูลรายละเอียดของอุบัติเหตุนั้น ๆ

ระบบสารสนเทศอุบัติเหตุบนทางหลวง (HAIMS) พัฒนาขึ้นเพื่อจัดเก็บข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงอย่างทันเหตุการณ์ ดังภารกิจหลักในการกำหนดกลยุทธ์และมาตรการแก้ไขปัญหาอุบัติเหตุ รวมถึงพัฒนาระบบฐานข้อมูลสารสนเทศด้านการจราจรและความปลอดภัย โดยระบบสามารถวิเคราะห์สถิติอุบัติเหตุจุดอันตราย และแสดงผลด้วยแผนที่ GIS ทำให้การวางแผนและการดำเนินงานเพื่อแก้ไขปัญหาอุบัติเหตุรายพื้นที่/จังหวัดมีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผลตามนโยบายของศูนย์อำนวยการความปลอดภัยทางถนน กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย

ภาพรวมการใช้งานระบบ HAIMS มีองค์ประกอบ 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่

1) ส่วนแสดงผลชื่อและภาพลักษณ์องค์กร
2) ส่วนเมนู
3) ส่วนกระดานสนทนา



รูปที่ 2-108 หน้าหลักระบบสารสนเทศอุบัติเหตุบนทางหลวง (HAIMS)

หน้าจอหลักของระบบ HAIMS ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ซึ่งมีวัตถุประสงค์และรายละเอียดดังนี้

1) ส่วนแสดงผลชื่อและภาพลักษณ์องค์กร

แสดงสัญลักษณ์ของกรมทางหลวง สำนักอำนวยความปลอดภัย และชื่อของระบบสารสนเทศอุบัติเหตุบนทางหลวง (HAIMS) สถิติการเกิดอุบัติเหตุ ผู้เสียชีวิต และผู้ได้รับบาดเจ็บตามช่วงเวลาเทศกาล

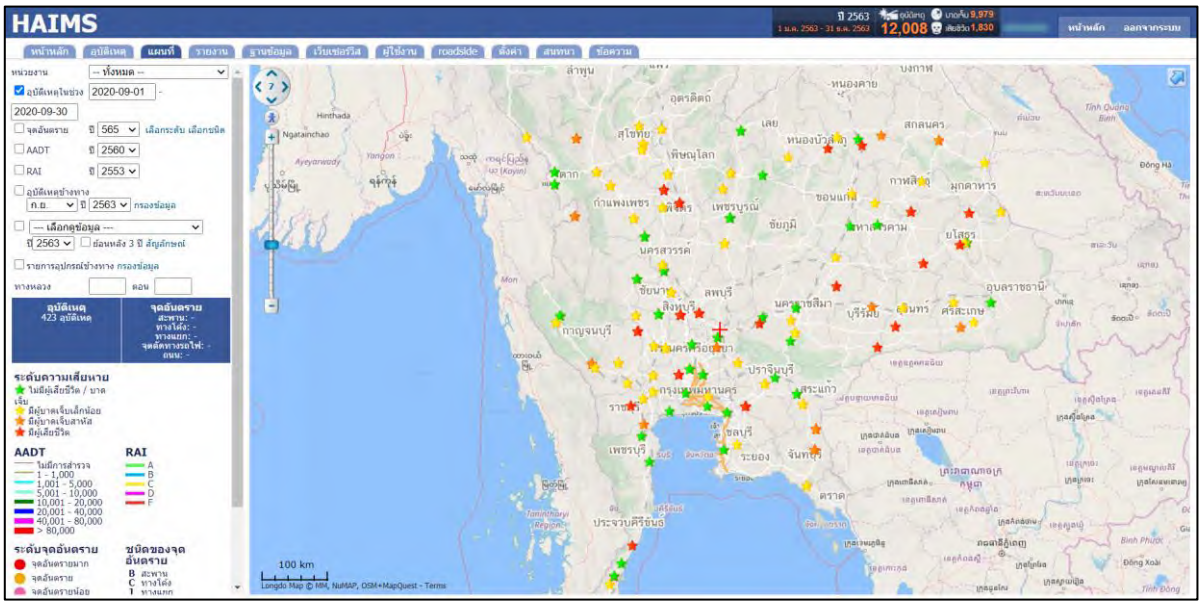
2) ส่วนเมนู

เมนูการใช้งานในส่วนต่าง ๆ ของระบบ การแสดงผลของเมนูขึ้นอยู่กับสิทธิ์ของผู้ใช้งานแต่ละระดับ เช่น ผู้ใช้งานทั่วไป ผู้ใช้งานระดับสำนักทางหลวง/แขวงทางหลวง/หมวดทางหลวง ผู้ดูแลระบบ เป็นต้น

3) ส่วนกระดานสนทนา

ระบบ HAIMS มีช่องทางสำหรับติดต่อสื่อสารให้กับผู้ดูแลระบบฯ กรณีที่มีข้อสงสัย ต้องการสอบถามเพิ่มเติม หรือรายงานปัญหา เป็นช่องทางการสื่อสารกับผู้ดูแลระบบอีกช่องทางหนึ่ง รวมทั้งยังสามารถเป็นแหล่งค้นคว้าหาข้อมูลในการแก้ปัญหา และเทคนิคการใช้งานต่าง ๆ จากผู้ใช้งาน

ข้อมูลรายการอุบัติเหตุบนระบบ HAIMS สามารถแสดงผลข้อมูลได้บนแผนที่ตามการกรองช่วงข้อมูลที่สนใจจากวันที่เกิดเหตุ สายทาง เป็นต้น



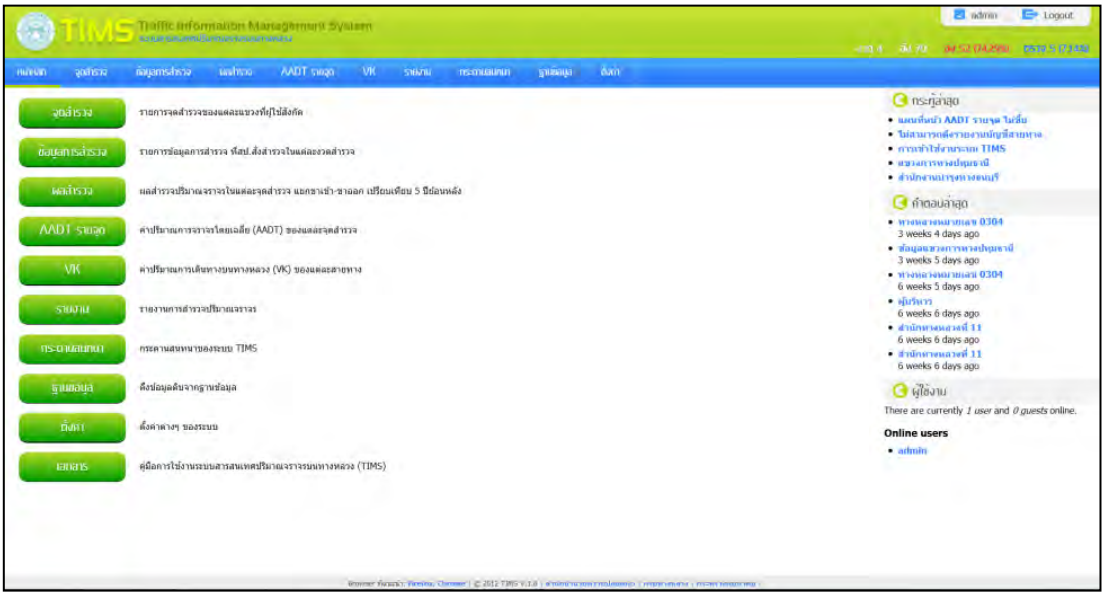
รูปที่ 2-109 หน้าแสดงตำแหน่งการเกิดอุบัติเหตุบนแผนที่

2.2.5 ระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS) โดยสำนักอำนวยความปลอดภัย ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลปริมาณจราจร (Traffic Volume) ข้อมูลชนิดของยานพาหนะ (Vehicle Type) เป็นต้น

ระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (Traffic Database Management and Service, TIMS) โดยสำนักอำนวยความปลอดภัยพัฒนาขึ้นเพื่อบริหารจัดการข้อมูลสารสนเทศจราจร และข้อมูลการสำรวจปริมาณจราจร โดยเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบสารสนเทศข้อมูลการจราจรในรูปแบบ Web Based Application ในด้านขีดความสามารถระบบข้อมูลจราจร ซึ่งแบ่งข้อมูลการจราจร ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ปริมาณจราจร (Traffic Counting) ประเภทยานพาหนะ (Vehicle Classification) และน้ำหนักบรรทุก (Truck Weighing) โดยมีแนวคิดในการเชื่อมโยง ปรับปรุงและพัฒนาระบบซึ่งมีองค์ประกอบของงานหลัก ๆ ดังนี้ ฐานข้อมูล Roadnet ฐานข้อมูล HAIMS ฐานข้อมูล TIMS และ RIMS ซึ่งฐานข้อมูลหลักของระบบและการติดต่อระหว่างผู้ใช้งานระบบกับระบบงานไม่ว่าจะเป็นการติดต่อระบบงานผ่านเครือข่ายภายในของกรมทางหลวง (Intranet)

ภาพรวมการใช้งานระบบ TIMS มีองค์ประกอบ 10 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่

1) จุดสำรวจ
2) ข้อมูลการสำรวจ
3) ผลสำรวจ
4) AADT รายจุด
5) VK
6) รายงาน
7) กระดานสนทนาถามตอบปัญหา
8) ฐานข้อมูล
9) ตั้งค่า
10) เอกสารสำหรับผู้ดูแลระบบ (Admin)

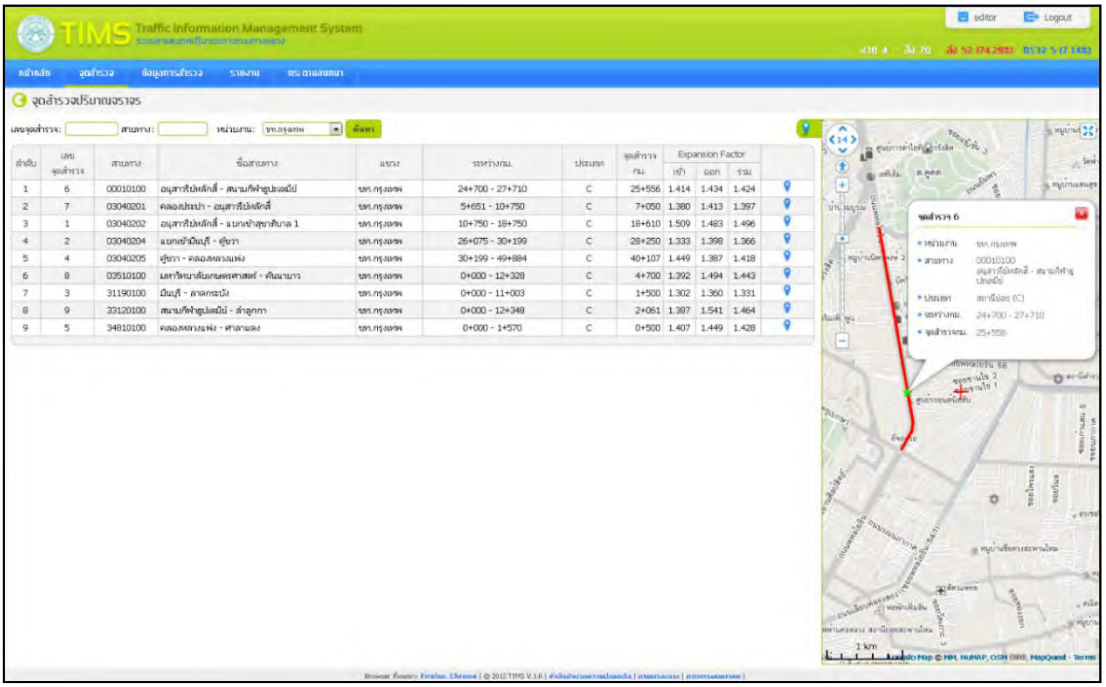


รูปที่ 2-110 หน้าหลักระบบ TIMS

ในหน้าจอหลักของระบบ TIMS ประกอบด้วย 10 ส่วนหลัก ๆ ซึ่งมีวัตถุประสงค์และรายละเอียดของระบบ ดังนี้

1) จุดสำรวจ

แสดงข้อมูลจุดสำรวจ เจ้าหน้าที่หมวดการทางหรือแขวงการทาง ผู้ที่รับผิดชอบตามแขวงที่สังกัดจะสามารถตรวจจุดสำรวจที่รับผิดชอบตามแขวงที่สังกัดได้เท่านั้นโดยที่จะแสดงแผนที่พร้อมเส้นทางและจุดที่ทำการสำรวจและแสดงกล่องข้อความรายละเอียดสายทาง



รูปที่ 2-111 หน้าจุดสำรวจระบบ TIMS

2) ข้อมูลการสำรวจ

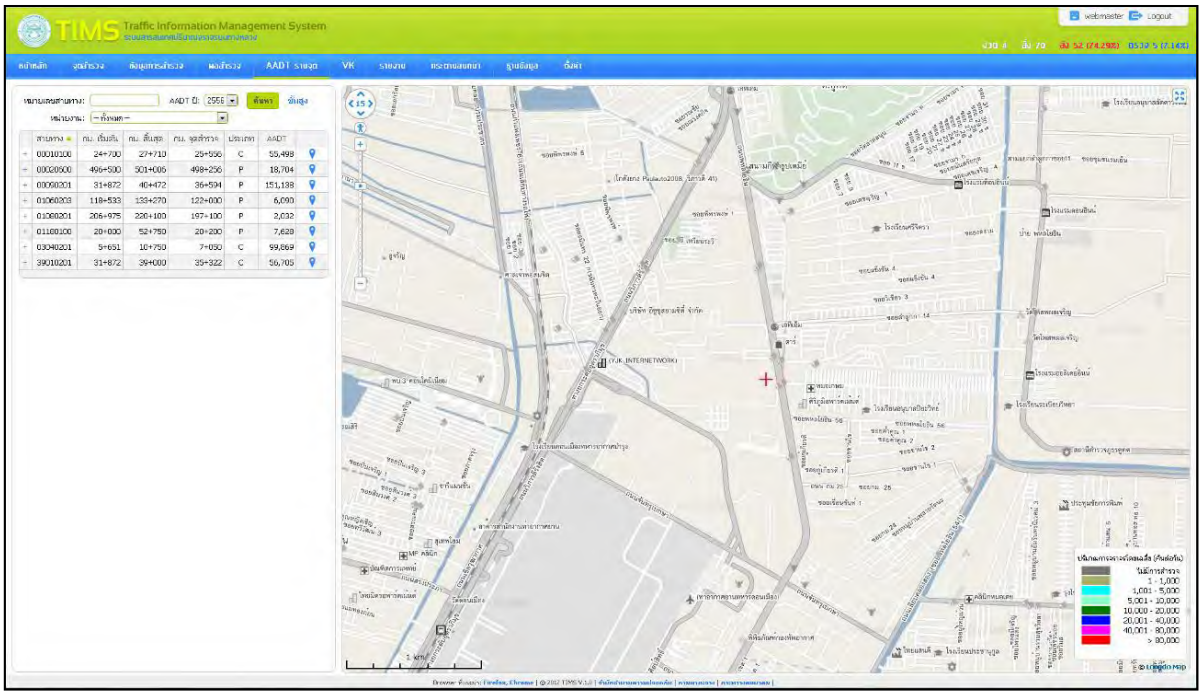
ส่วนหน้าข้อมูลการสำรวจ แสดงข้อมูลการสำรวจปริมาณการจราจร ในส่วนของการนำเข้าข้อมูลโดยผู้มีหน้าที่นำเข้าข้อมูลการสำรวจคือ เจ้าหน้าที่หมวดการทางหรือแขวงการทาง ที่มีหน้าที่รับผิดชอบตามจุดสำรวจในเขตพื้นที่รับผิดชอบและผู้ทำหน้าที่ส่วนกลาง มีหน้าที่ตรวจสอบข้อมูลปริมาณการจราจร

3) ผลสำรวจ

ส่วนหน้าผลสำรวจ แสดงข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการสำรวจปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้น เกิดจากผู้สำรวจจากเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบตามจุดสำรวจในเขตพื้นที่รับผิดชอบ

4) AADT รายจุด

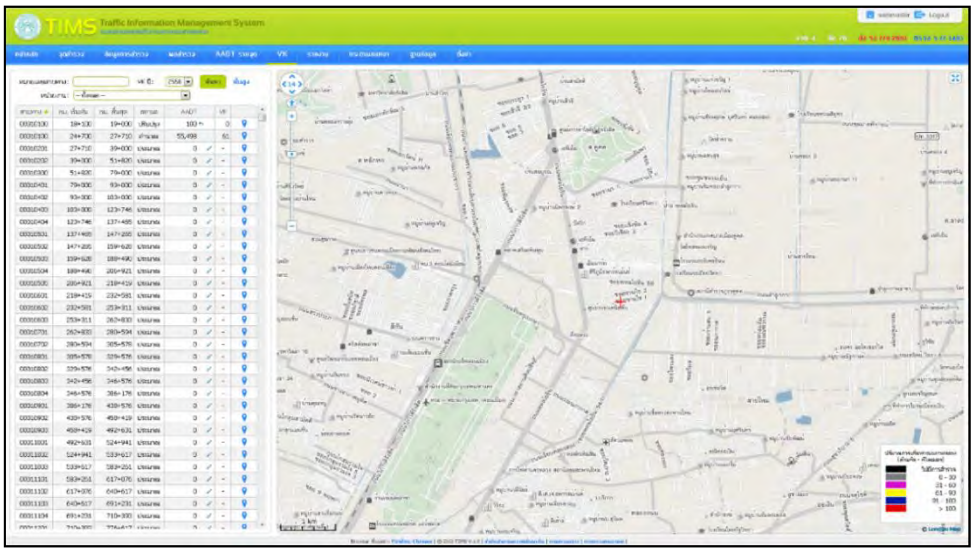
AADT รายจุด แสดงข้อมูลการสำรวจปริมาณการจราจรในแต่ละสายทาง จากการสำรวจของเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบตามจุดสำรวจในเขตพื้นที่รับผิดชอบ แบ่งเป็นส่วนของขาเข้าและขาออกเจ้าหน้าส่วนกลางสามารถทำการเลือกสายทางที่ต้องการ พร้อมแสดงจุดสำรวจที่อยู่ระหว่างเส้นทางที่ทำการสำรวจ กล้องแสดงรายละเอียดของสายทางบนแผนที่ หรือเจ้าหน้าที่ส่วนกลางสามารถค้นหาข้อมูลตามหมายเลขสายทางที่ต้องการได้



รูปที่ 2-112 หน้าจอการใช้งาน AADT รายจุด

5) ข้อมูล VK

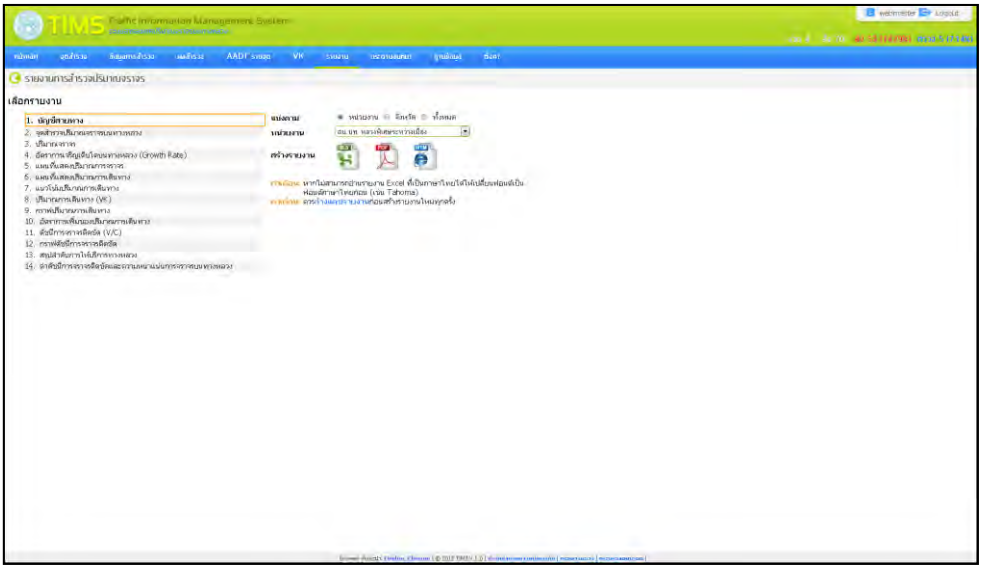
แสดงข้อมูลการสำรวจปริมาณการเดินรถบนทางหลวงในแต่ละสายทางโดยคำนวณจากค่า AADT ของแต่ละสายทาง ข้อมูลที่ได้จากเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบตามจุดสำรวจในเขตพื้นที่รับผิดชอบเจ้าหน้าส่วนกลางสามารถทำการเลือกสายทางที่ต้องการ เจ้าหน้าที่ส่วนกลางสามารถค้นหาข้อมูลตามหมายเลขสายทางที่ต้องการได้



รูปที่ 2-113 หน้าจอการใช้งาน AADT รายจุด

6) รายงาน

การจัดทำรายงานข้อมูลการจราจรระบบจัดทำรายงานที่ช่วยในการเปลี่ยนข้อมูลดิบที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลออกมาเป็นรายงานสรุปต่าง ๆ ในเงื่อนไขที่ผู้ใช้กำหนด ซึ่งในระบบนี้ผู้ใช้สามารถสร้างรายงานสรุปในรูปแบบไฟล์ 3 ชนิด ได้แก่ Excel PDF และ HTML



รูปที่ 2-114 หน้ารายงานปริมาณจราจรบนทางหลวง

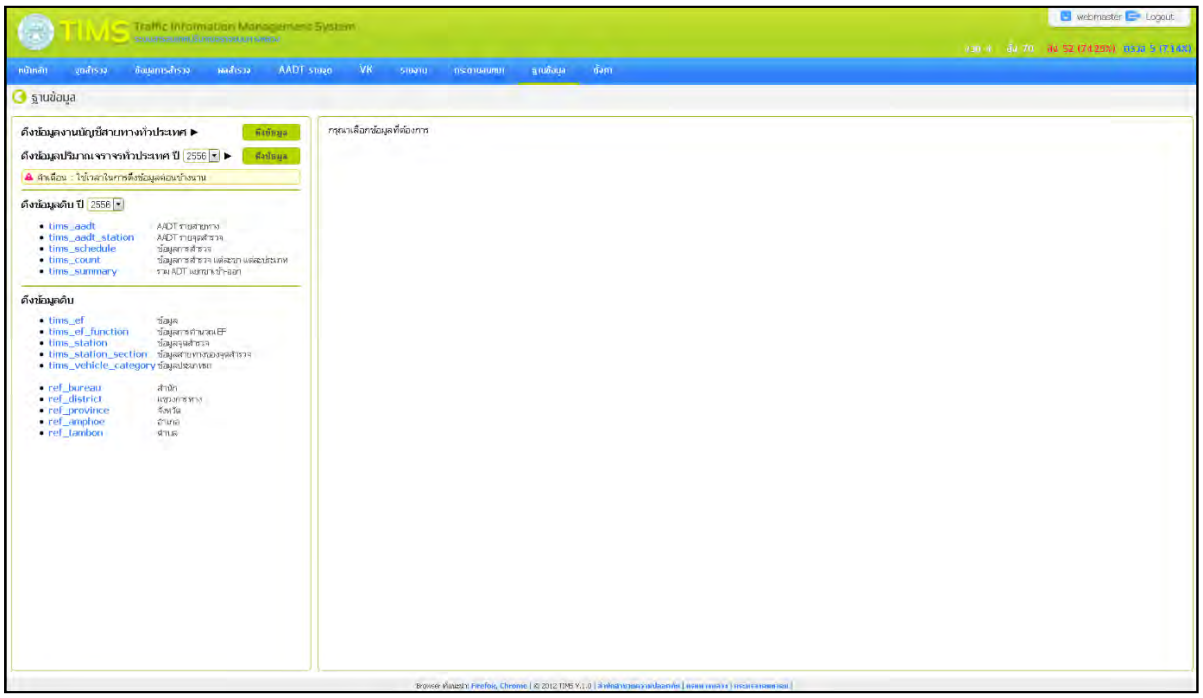
7) กระดานสนทนาถามตอบปัญหา

กระดานสนทนาถามตอบปัญหาใช้ในการสื่อสารระหว่างผู้กรอกข้อมูลและผู้ดูแลระบบ

8) ฐานข้อมูล

ระบบฐานข้อมูลจัดทำขึ้นเพื่อเจ้าหน้าที่ส่วนกลางต้องการนำข้อมูลดิบจากการสำรวจปริมาณการจราจรนำไปใช้ประโยชน์ในการพิจารณาข้อมูลในภาพรวมต่อไป ในการดึงข้อมูลจากระบบของหน้าฐานข้อมูลนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

- ดึงข้อมูลงานบัญชีสายทางทั่วประเทศ หรือดึงข้อมูลปริมาณจราจรทั่วประเทศรายปี โดยการดึงข้อมูลแบบนี้เป็นการดึงข้อมูลมาแล้วมีการจัดให้อยู่ในรูปแบบงานบัญชีสายทางทั่วประเทศ หรือ ปริมาณจราจรทั่วประเทศรายปี
- ดึงข้อมูลดิบจากตารางฐานข้อมูลโดยตรง โดยการดึงข้อมูลแบบนี้จะได้ข้อมูลดิบจากฐานข้อมูลที่ไม่ได้ถูกจัดรูปแบบมาก่อน



รูปที่ 2-115 หน้าฐานข้อมูล

9) ตั้งค่า

ไว้สำหรับปรับตัวแปรของระบบ และสั่งคำนวณค่าต่าง ๆ

10) เอกสารสำหรับผู้ดูแลระบบ (Admin)

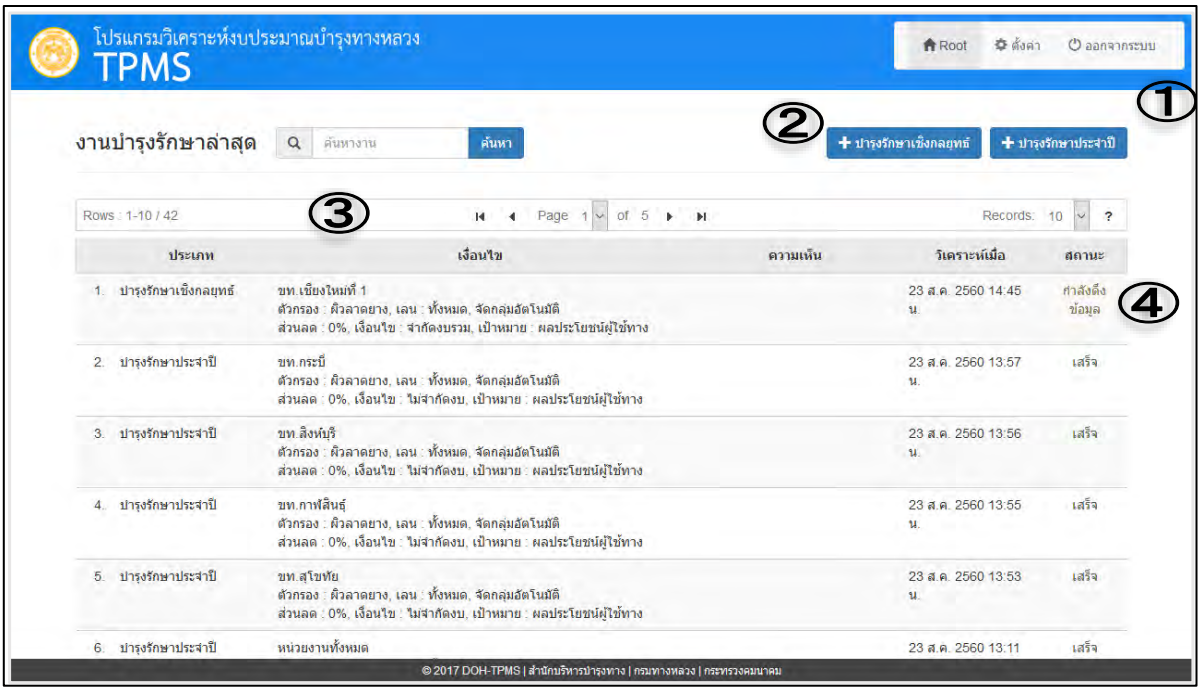
แสดงเกี่ยวกับคู่มือการใช้ระบบ TIMS

2.2.6 โปรแกรมบริหารแผนงานบำรุงทาง (TPMS) โดยสำนักบริหารและบำรุงทาง ยกตัวอย่างเช่น แบบจำลองการเสื่อมสภาพ (Deterioration Model) แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Road Work Effect Model) เป็นต้น

ภายในโปรแกรม TPMS ประกอบไปด้วยแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์จัดสรรงบประมาณบำรุงทาง ได้แก่ แบบจำลองการเสื่อมสภาพของสายทาง (Deterioration Model) แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Road Work Effect Model) แบบจำลองผลกระทบต่อผู้ใช้ทาง (Road User Effect Model) แบบจำลองทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม (Social & Environmental Model) และการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis) เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการซ่อมบำรุง และจัดลำดับความสำคัญของโครงการซ่อมบำรุง

ในหน้าจอหลักของระบบ TPMS ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

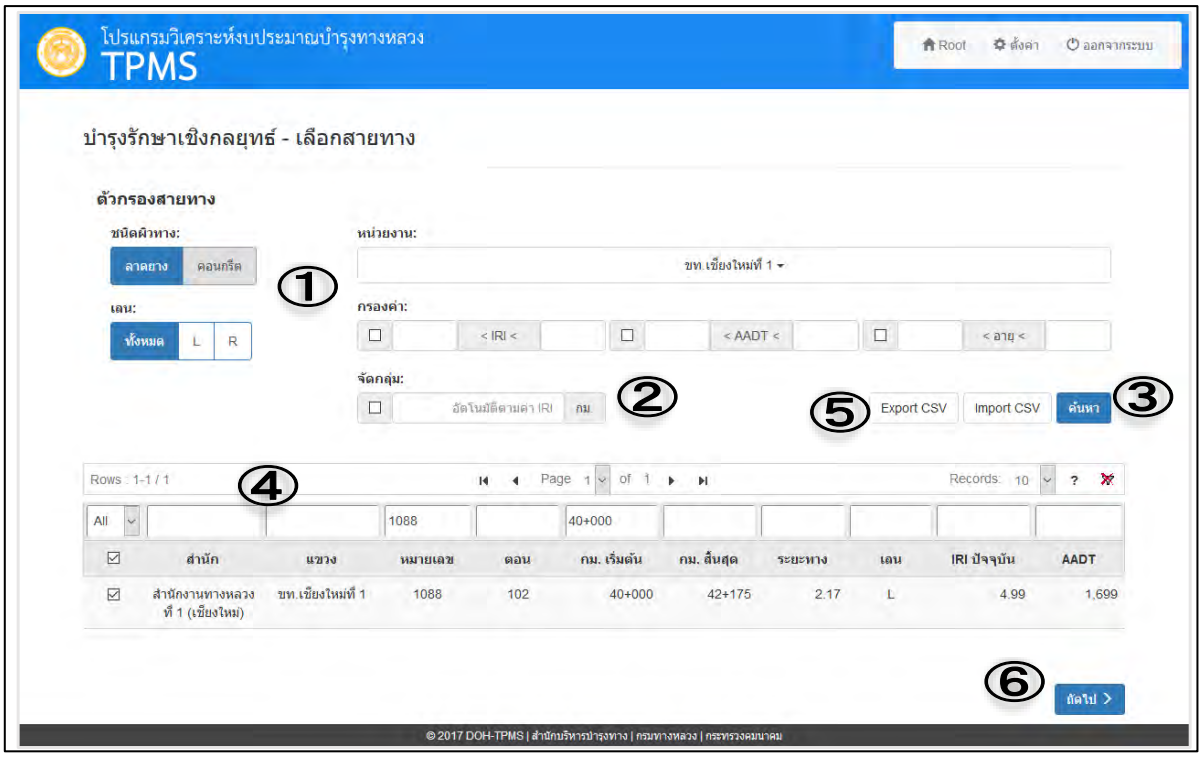
1) เมนูหลัก ได้แก่ หน้าหลัก ตั้งค่า และออกจากระบบ
2) ปุ่มสั่งวิเคราะห์
3) รายงานการบำรุงรักษาที่เคยวิเคราะห์ และช่องค้นหางาน
4) สถานะของการทำงาน



รูปที่ 2-116 หน้าจอหลัก

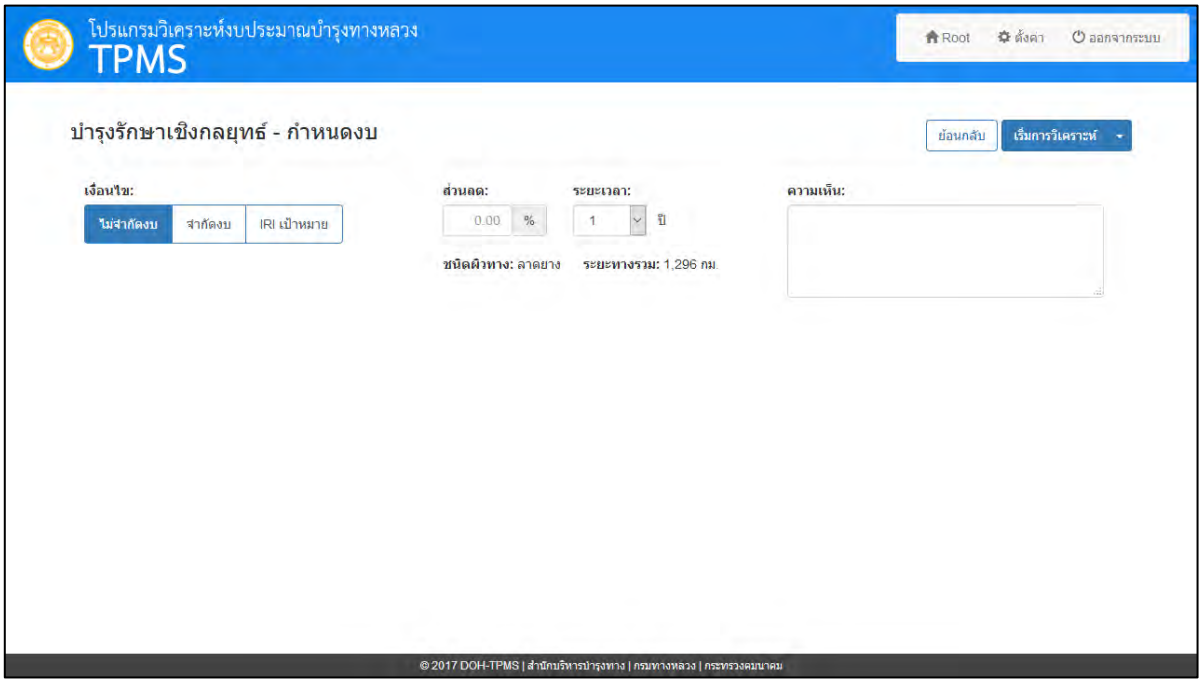
ปุ่มสั่งวิเคราะห์ประกอบด้วย การบำรุงรักษาเชิงกลยุทธ์และการบำรุงรักษาประจำปี เมื่อกดปุ่ม “บำรุงรักษาเชิงกลยุทธ์” จากหน้าหลักจะแสดงหน้าเลือกสายทาง ซึ่งมีการใช้งาน ดังนี้

1. กำหนดเงื่อนไขการค้นหา ได้แก่ เลน หน่วยงาน IRI AADT และอายุสายทาง
2. เลือกให้จัดกลุ่มอัตโนมัติ หรือกำหนดความยาวเอง
3. ค้นหาสายทางตามเงื่อนไข
4. ระบบจะแสดงรายการสายทาง โดยสามารถเพิ่มตัวกรองหรือเลือกเฉพาะบางแถวได้
5. Export สายทางเป็นไฟล์ CSV เพื่อเปิดด้วยโปรแกรมอื่น
6. กดปุ่มถัดไปเพื่อไปยังหน้ากำหนดงบประมาณ

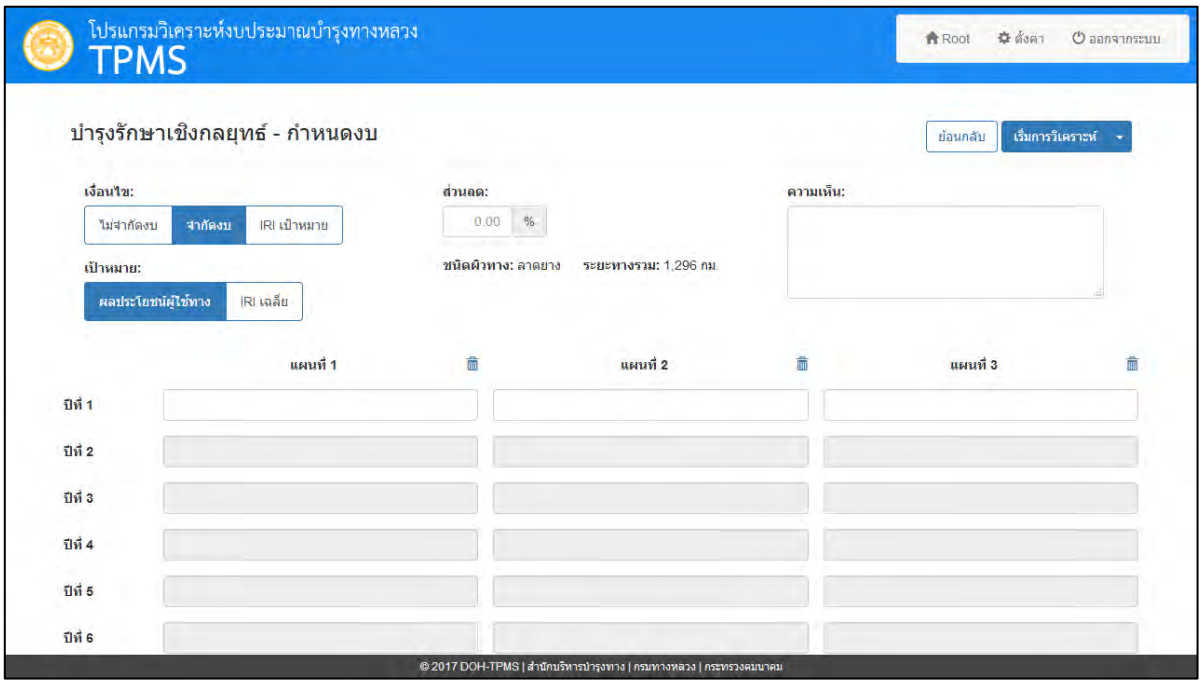


รูปที่ 2-117 หน้าจอคัดกรองสายทางการบำรุงรักษาเชิงกลยุทธ์

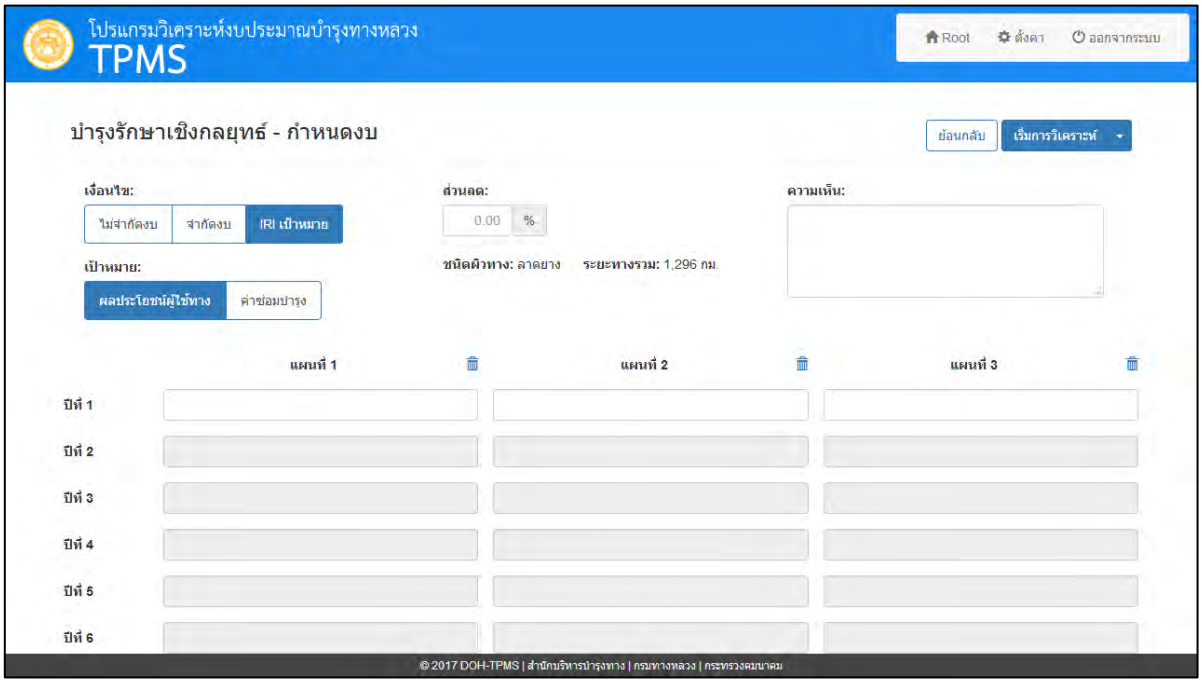
เมื่อเข้ามายังหน้ากำหนดงบประมาณแล้วจะพบเงื่อนไขในการกำหนดงบประมาณ 3 รูปแบบ ได้แก่ ไม่จำกัดงบ จำกัดงบ และ IRI เป้าหมาย



รูปที่ 2-118 หน้ากำหนดงบประมาณด้วยเงื่อนไขไม่จำกัดงบประมาณ

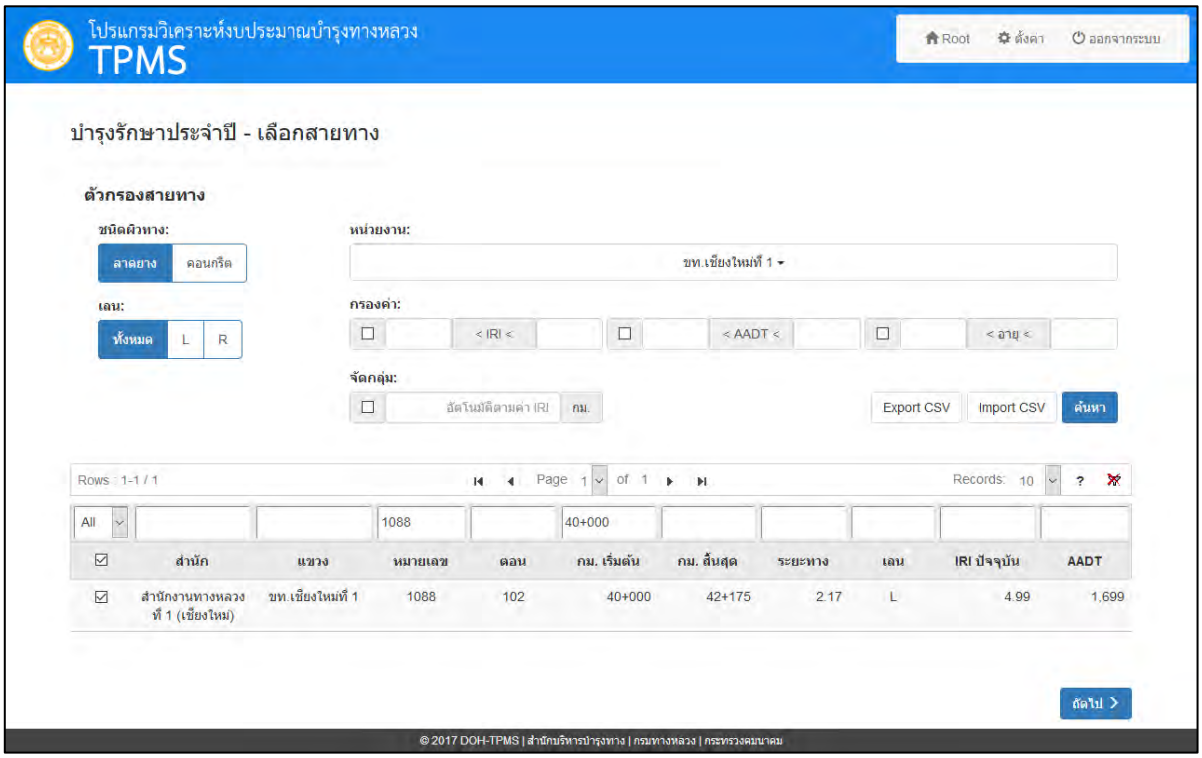


รูปที่ 2-119 หน้ากำหนดงบประมาณ



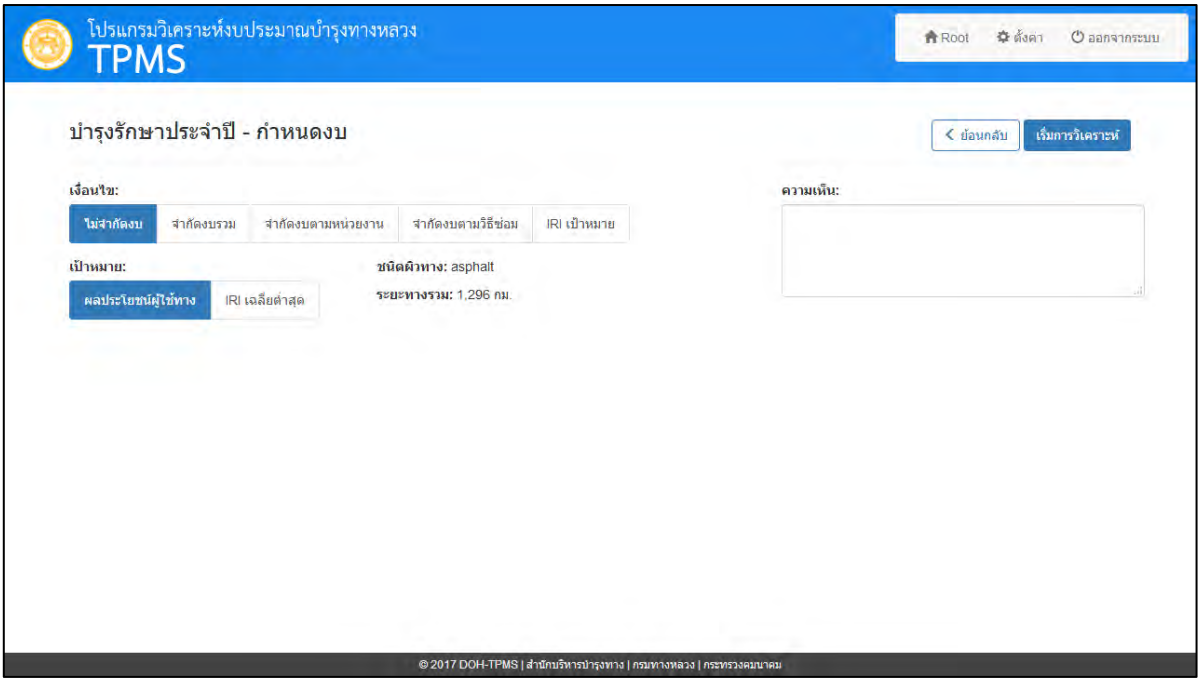
รูปที่ 2-120 หน้ากำหนดงบประมาณด้วยเงื่อนไข IRI เป้าหมาย

เมื่อกดปุ่ม “บำรุงรักษาประจำปี” จากหน้าหลัก จะแสดงหน้าเลือกสายทาง ซึ่งมีการใช้งานเหมือนกับการเลือก บำรุงรักษาเชิงกลยุทธ์

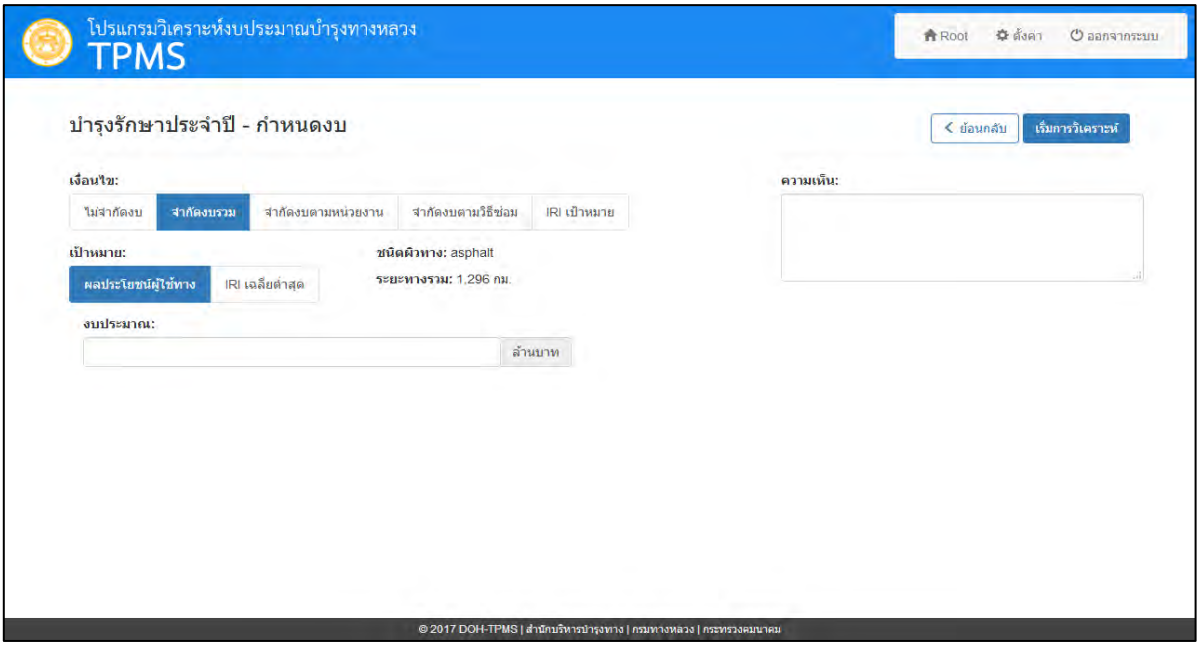


รูปที่ 2-121 หน้าจอคัดกรองสายทางการบำรุงรักษาประจำปี

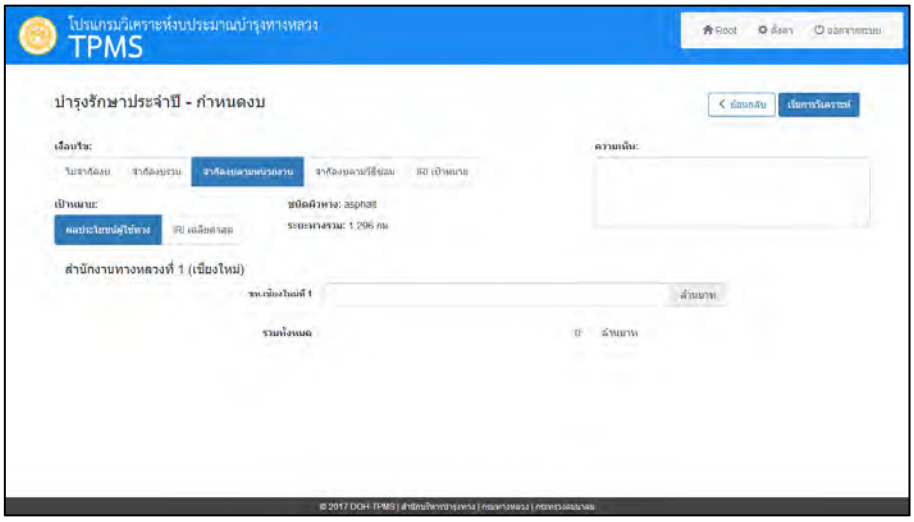
เมื่อกด “ถัดไป” และเข้ามายังหน้ากำหนดงบประมาณ จะพบเงื่อนไขในการกำหนดงบประมาณ 3 รูปแบบ ได้แก่ ไม่จำกัดงบ จำกัดงบ จำกัดงบตามหน่วยงาน จำกัดงบตามวิธีซ่อม และ IRI เป้าหมาย



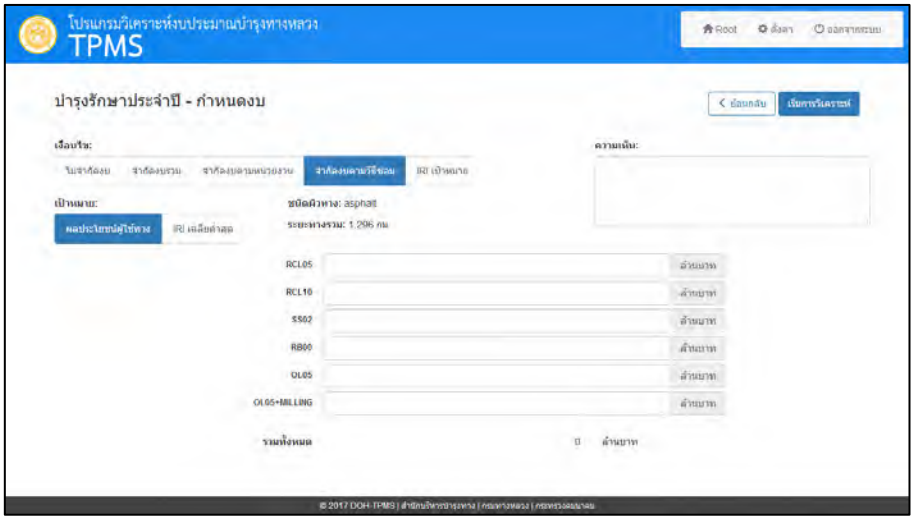
รูปที่ 2-122 หน้ากำหนดงบประมาณด้วยเงื่อนไขไม่จำกัดงบประมาณ



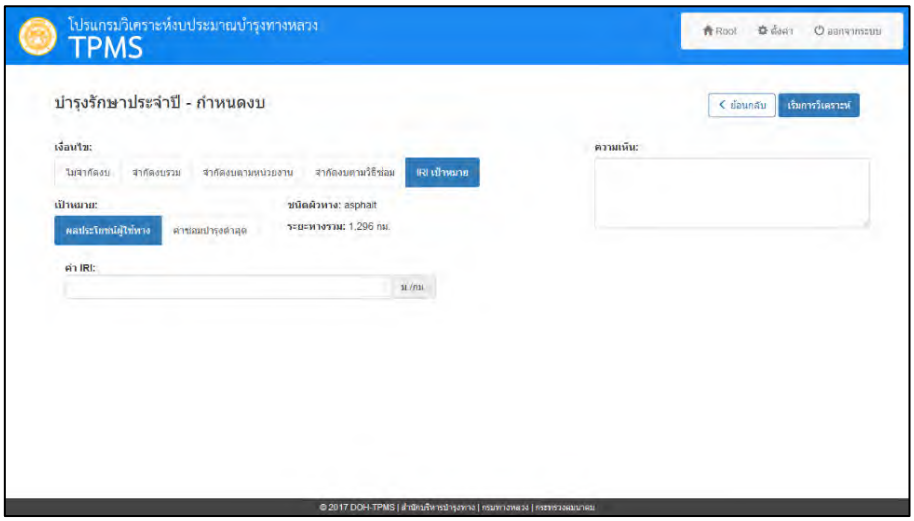
รูปที่ 2-123 หน้ากำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์



รูปที่ 2-124 หน้ากำหนดงบประมาณด้วยเงื่อนไขจำกัดงบประมาณตามหน่วยงาน



รูปที่ 2-125 หน้ากำหนดงบประมาณด้วยเงื่อนไขจำกัดงบประมาณตามวิธีซ่อม



รูปที่ 2-126 หน้ากำหนดงบประมาณด้วยเงื่อนไข IRI เป้าหมา

2.2.7 สรุปข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลทั้งหมดของกรมทางหลวง

จากการศึกษาและทำการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาทำการศึกษา สรุปข้อมูลออกมาเป็นตารางสรุป แสดงดังตารางที่ 2-31

ตารางที่ 2-31 แสดงจำนวนข้อมูลในแต่ละปี ของชนิดข้อมูล ในฐานข้อมูล ต่างๆ ของกรมทางหลวง

	Road Condition															
	MIS										Roadnet				TMS	Planet
	SKD		FI (deflection)		RI		RUT		MPD		RI, RUT, MPD, Pavement Distress				AADT	ประวัติการซ่อมบำรุง
											AC		CC			
Years	Count survey (Line)	Length (KM)	Count survey (Line)	Length (KM)	Count survey (Line)	Length (KM)	Count survey (Line)	Length (KM)	Count survey (Line)	Length (KM)	Count survey (Line)	Length (KM)	Count survey (Line)	Length (KM)	Length (KM)	Length (KM)
2550											134800	143835.0				
2551																
2552																
2553											6530.0	5138.60				
2554											118000	111406.1	208800	8090.64		
2555											564900	408263.9	700	38.38	516049.1	
2556															516824.9	
2557					2.00	52.44					313500	230232.5			516930.1	
2558	7.00	77.33			1380.0	1890.47					553700	404838.6			517398.4	
2559	510.00	999768	30.00	330.15	1578.00	2463017	49.00	787.79	51.00	800.41					517912.4	
2560	242.00	564417	130.00	1220.89	971.00	1251355	143.00	1862.75	296.00	3717.73					518026.6	
2561	98.00	1176.17	231.00	2526.61	1076.00	1282243									518410.6	
2562	32.00	621.93	253.00	1578.60	1101.00	1219313					431300	386076.6	169700	2474.72	520502	248561
2563	8.00	73.41	142.00	1255.76	109.00	1914.80	9.00	65.40	9.00	65.40	539000	381651.7	224300	3127.45	520831.2	166913
2564	283.00	1331.17	202.00	2477.93	924.00	1081865	9.00	129.03	9.00	151.91	205500	137564.9	124900	1683.90	521606.0	172984
2565	130.00	604.26	397.00	2657.92	1024.00	1362898	449.00	6664.25	447.00	6614.25	451700	264602.5	265500	4023.19	523026.2	204900
2566	22.00	133.76	29.00	129.22	187.00	2060.48	112.00	1266.65	112.00	1266.65			4.00	4.00		176800

2.3 งานคัดเลือกสายทาง

ที่ปรึกษาได้เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากระบบฐานข้อมูลต่อไปนี้ ได้แก่

- ระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทางหลวง (MIIS) โดยสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
- ระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (ROADNET) โดยสำนักบริหารบำรุงทาง
- ระบบฐานข้อมูลสมรรถนะทางหลวง (iPAVEs) โดยสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง
- ระบบสารสนเทศอุบัติเหตุบนทางหลวง (HAIMS) โดยสำนักอำนวยความปลอดภัย
- ระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS) โดยสำนักอำนวยความปลอดภัย
- โปรแกรมบริหารแผนงานบำรุงทาง (TPMS) โดยสำนักบริหารและบำรุงทาง

ที่ปรึกษาได้นำข้อมูลจากฐานข้อมูลข้างต้นมาวิเคราะห์และจัดเตรียมข้อมูลเพื่อคัดเลือกสายทางสำหรับการสำรวจข้อมูลภาคสนาม เพื่อเพิ่มเติมและสนับสนุนระบบ iPAVEs ของสำนักวิจัยและพัฒนางานทางที่มีอยู่ให้สมบูรณ์และมีข้อมูลเพียงพอต่อการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน โดยสายทางที่ทำการคัดเลือกมีจำนวนไม่น้อยกว่า 20 แห่ง และระยะทางรวมไม่น้อยกว่า 900 กิโลเมตร/ช่องจราจร โดยมีปัจจัยหลักที่ใช้พิจารณา แสดงดังตารางที่ 2-32

ตารางที่ 2-32 ปัจจัยที่จะพิจารณาคัดเลือกสายทางในการสำรวจ

ฐานข้อมูล	IRI	MPD	Road Distress	FWD	Friction	Road Surface	Road Hierarchy	No. of Lanes	Divide
MIIS	/		/	/	/				
ROADNET	/	/				/	/	/	/
iPAVEs	/	/	/	/					

โดยที่ปรึกษาได้กำหนดหลักการในการคัดเลือกสายทาง 20 แห่ง และระยะทางรวมไม่น้อยกว่า 900 กิโลเมตร/ช่องจราจร โดยมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกสายทาง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความหลากหลายครบถ้วนของข้อมูล ดังนี้

1) ข้อมูล Geometry ของถนน

ที่ปรึกษาพิจารณาคัดเลือกสายทางให้ครอบคลุมถึงจำนวนของช่องจราจรของถนน ถนนที่มีหรือไม่มีเกาะกลางถนน และชนิดของผิวทาง เช่น ผิวคอนกรีต ผิวลาดยาง และเป็นช่วงตอนควบคุมที่ไม่สั้นเกินไป คือ มีความยาวไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตร

2) ความครบถ้วนของข้อมูล

ที่ปรึกษาพิจารณาคัดเลือกสายทาง จากที่มีข้อมูล ค่า IRI, MPD, Road Distress, Fiction และ FWD และมีความถี่เก็บข้อมูลจำนวนปีบ่อยครั้งมากที่สุด เพื่อที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง รวมถึงเมื่อมีข้อมูลหลายจุด จะส่งผลให้ความแม่นยำของแบบจำลองจะมีมากยิ่งขึ้น

3) ลำดับชั้นของถนน (Road Hierarchy)

ที่ปรึกษาพิจารณาคัดเลือกสายทาง ตามชนิดและการใช้งานของถนน โดยแบ่งเป็น 4 ลำดับชั้น ดังนี้

- ลำดับชั้น 1 คือ ทางหลวงแผ่นดินเชื่อมโยงระหว่างประเทศ
- ลำดับชั้น 2 คือ ทางหลวงแผ่นดินเชื่อมโยงภายในภูมิภาค
- ลำดับชั้น 3 คือ ทางหลวงแผ่นดินเชื่อมโยงระดับจังหวัด
- ลำดับชั้น 4 คือ ทางหลวงแผ่นดินเชื่อมโยงระดับอำเภอ

ที่ปรึกษาได้พิจารณาจากทางหลวงทั้งหมด 2,985 ตอนควบคุม แบ่งเป็นผิวถนนลาดยางทั้งหมด 2,427 ตอนควบคุมเป็นระยะทาง 46,199 กิโลเมตร และผิวถนนคอนกรีตทั้งหมด 558 ตอนควบคุม เป็นระยะทาง 11,147 กิโลเมตร ซึ่งรวมเป็นระยะทางทั้งหมด 57,346 กิโลเมตร

โดยที่ปรึกษาพิจารณาจากข้อมูล 5 ประเภทที่มีในฐานข้อมูล ซึ่งจะเป็นข้อมูลขาเข้า (input) หลักในการสร้างแบบจำลองวิเคราะห์ความเสื่อมสภาพของผิวทาง ได้แก่

- ค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI)
- ค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD)
- ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction, f หรือ μ)
- ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างถนน โดยวัดด้วยวิธี Falling Weight Deflectometer
- ชนิดของความเสียหายของผิวทาง (Road Distress) โดยแบ่งเป็น 6 ชนิดในผิวทางแต่ละประเภท แสดงดังตารางที่ 2-33

ตารางที่ 2-33 ชนิดของความเสียหายของผิวทางแต่ละประเภท

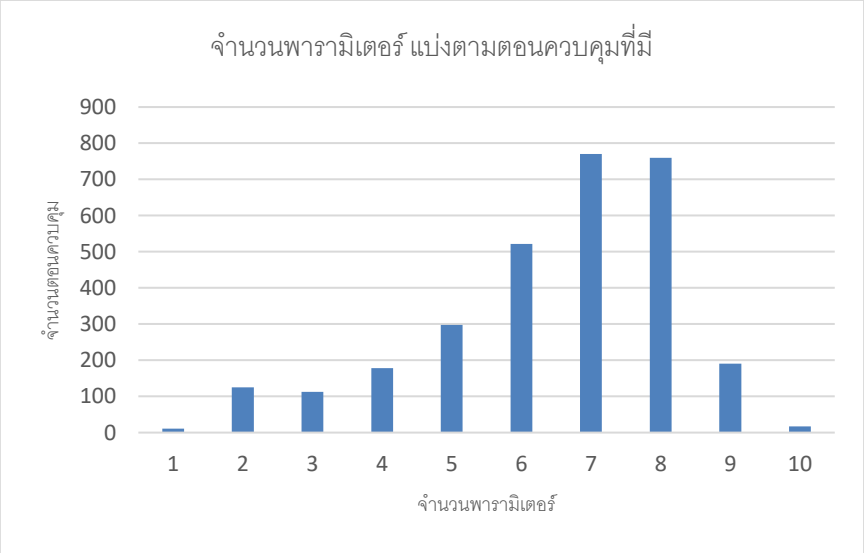
ประเภทผิวทาง	ชนิดความเสียหาย
ผิวทางลาดยาง	1. รอยแตกต่อเนื่อง
	2. รอบแตกไม่ต่อเนื่อง
	3. การเยิ้มของลาดยาง
	4. การหลุดร่อน
	5. หลุมบ่อ
	6. รอยปะซ่อม
ผิวทางคอนกรีต	1. รอยแตกตามขวาง
	2. รอยบิ่นกระเทาะหรือรอยต่อ
	3. รอยแตกตามยาว
	4. รอยแตกที่มุม
	5. ความเสียหายของวัสดุแนวรอยต่อ
	6. รอยประซ่อม

ดังนั้น จะมีจำนวนพารามิเตอร์จากค่าดัชนีวิเคราะห์สภาพถนนทั้งหมด 4 ตัวและชนิดความเสียหายของผิวทางแต่ละประเภทอีกประเภทละ 6 ตัว รวมเป็นพารามิเตอร์ทั้งหมด 10 ตัว ในส่วนผิวทางลาดยาง และจำนวนพารามิเตอร์ทั้งหมด 10 ตัว ในส่วนผิวทางคอนกรีต

ตารางที่ 2-34 จำนวนตอนควบคุมและระยะทางรวม แบ่งตามจำนวนพารามิเตอร์สภาพถนนที่มี

จำนวนพารามิเตอร์	จำนวนตอนควบคุม	ระยะทาง (กม.)	ร้อยละตอนควบคุม
10	17	567.15	0.6%
9	191	6,175.04	6.4%
8	760	18,222.30	25.5%
7	770	14,936.56	25.8%
6	522	8,629.37	17.5%
5	298	4,249.92	10.0%
4	178	1,829.78	6.0%
3	113	1,538.23	3.8%
2	125	1,175.69	4.2%
1	11	21.48	0.4%
รวม	2,985	57,345.525	100%

จากตารางที่ 2-34 จะพบว่า ตอนควบคุมที่มีจำนวนพารามิเตอร์ครบ 10 ตัว (มีชนิดความเสียหายของผิวทางครบทุกประเภท) มีจำนวนเพียง 17 ตอนควบคุม ทางที่ปรึกษาจึงได้เลือกตอนควบคุมทั้งหมดที่มีจำนวนพารามิเตอร์ครบทั้ง 10 ตัว โดยคิดเป็นระยะทางรวม 567.15 กิโลเมตร และจากรูปที่ 2-127 จะเห็นว่าการกระจายตัวของตอนควบคุมส่วนใหญ่ (ร้อยละ 25.8) จะมีจำนวนพารามิเตอร์เพียง 7 ตัว



รูปที่ 2-127 การกระจายตัวของตอนควบคุมที่มีจำนวนพารามิเตอร์ที่สามารถใช้บ่งชี้สภาพถนนตั้งแต่ 1-10 ตัว

นอกจากนี้ ที่ปรึกษาได้เลือกตอนควบคุมเพิ่มเติม โดยเลือกตอนควบคุมที่มีจำนวนพารามิเตอร์ 3 ตัว โดยเน้นไปที่ค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (MPD) ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Friction) และตอนควบคุมที่ไม่จำเป็นต้องมีความเสียหายของผิวทางครบทุกประเภท เนื่องจากชนิดความเสียหายของผิวทางในแต่ละตอนควบคุม ส่วนใหญ่จะมีไม่ครบทุกประเภท และเนื่องจากตอนควบคุมส่วนใหญ่มีจำนวนค่าความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (FWD) ค่อนข้างน้อย และนอกจากนี้ ที่ปรึกษาได้เลือกตอนควบคุมเพิ่มเติม โดยคำนึงถึงลำดับชั้นของถนน และชนิดของผิวทางให้ครอบคลุมที่สุด ซึ่งจากการทำตามวิธีดังกล่าว ทำให้สามารถคัดเลือกตอนควบคุมเพิ่มเติมมาอีก 27 ตอนควบคุม ซึ่งได้ระยะทางเพิ่มมาทั้งหมด 624.78 กิโลเมตร รวมระยะทางทั้งหมดจากการคัดเลือกสายทางเท่ากับ 1,191.93 กิโลเมตร

ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ในกระบวนการคัดเลือกสายทางที่จะเก็บข้อมูลเพิ่มนั้น ทางที่ปรึกษาได้เลือกช่วงทางหลวงมาทั้งสิ้น 44 ตอนควบคุม คิดเป็นระยะทางรวม 1,191.93 กิโลเมตร แสดงดังตารางที่ 2-35 ซึ่งทางที่ปรึกษาได้คัดเลือกสายทางให้เกินจากที่กำหนดไว้ เพื่อทำการคัดเลือกความเหมาะสมตามข้อจำกัดของหน้างานอีกครั้งหนึ่ง

ตารางที่ 2-35 สายทางที่คัดเลือกทั้งหมด 44 ตอนควบคุม

section_id	surface	road_id	dis_name	divi_name	name	km_start	km_end	length	class_id	type_id	grade	pave_wid	heirarchy	divide	lane_cour	mpd	iri	road_dis	fwd	fri	param_sun
3899	AC	4229	ขท.แพร่	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	หนองน้ำเขียว - ป่างเคาะ	351+74	382+066	30.326	1	1	3	3.5	1	0	4	1	1	6	1	1	1(
5014	AC	4230	ขท.ตากที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	แม่ละเมา - ตาก	36+405	85+905	49.5	1	1	1+	3.5	1	1	4	1	1	6	1	1	1(
5126	AC	4229	ขท.อุตรดิตถ์ที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	บึงหลัก - หนองน้ำเขียว	317	351+74	34.74	2	1	1+	3.5	1	1	4	1	1	6	1	1	1(
1818	AC	4229	ขท.อุตรดิตถ์ที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	นาอิน - ชัยมงคล	271+352	300	28.648	1	1	1+	3.5	1	1	4	1	1	6	1	1	1(
5013	AC	4258	ขท.พิจิตร	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	บึงบัว - คลองโนน	56+215	80	23.785	1	1	4	3.5	2	1	4	1	1	6	1	1	1(
3489	AC	4475	ขท.เชียงรายที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	ขุนแจ่ - เวียงป่าเป้า	53	82+043	29.043	1	1	4	3.5	3	0	4	1	1	6	1	1	1(
10521	AC	4269	ขท.ชัยภูมิ	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	บ้านลี่ - สี่แยกโรงดัม	101+564	126+617	25.053	1	1	1+	3.5	2	1	4	1	1	6	1	1	1(
5008	AC	4260	ขท.พิจิตร	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	เนินสว่าง - หนองนา	70	101+55	31.55	1	1	3	3.5	1	1	4	1	1	6	1	1	1(
11006	AC	4248	ขท.แพร่	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	แม่ยางฮ่อ - แม่ดีบ	4	40+554	36.554	1	1	3	3.5	1	0	8	1	1	6	1	1	1(
10432	AC	4434	ขท.เชียงรายที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	ท่าข้าวเปลือก - แก่นใต้	10+78	54+963	44.183	1	1	2	3.5	3	0	4	1	1	6	1	1	1(
5444	AC	5077	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	ท่าคล้อ - แสลงพัน	10	31+011	21.011	1	1	2	3	3	0	2	1	1	6	1	1	1(
4197	AC	4254	ขท.เชียงรายที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	แม่สรวย - ห้วยป่าไร่	0	31+425	31.425	1	1	5	2.75	2	0	2	1	1	6	1	1	1(
4335	AC	4489	ขท.เชียงรายที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	แม่ต๋ำน้อย - ทุ่งงิ้ว	43+504	84+182	40.678	1	1	5	3.5	3	0	2	1	1	6	1	1	1(
5126	conc	4229	ขท.อุตรดิตถ์ที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	บึงหลัก - หนองน้ำเขียว	317	351+74	34.74	2	1	1+	3.5	1	1	4	1	1	6	1	1	1(
5014	conc	4230	ขท.ตากที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	แม่ละเมา - ตาก	36+405	85+905	49.5	1	1	1+	3.5	1	1	6	1	1	6	1	1	1(
5008	conc	4260	ขท.พิจิตร	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	เนินสว่าง - หนองนา	70	101+55	31.55	1	1			1	1	4	1	1	6	1	1	1(
214	conc	4277	ขท.เลยที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	วังสำราญ - วังสะพุง	94+048	118+908	24.86	1	1	1+	3.5	2	1	4	1	1	6	1	1	1(
4978	AC	4230	ขท.พิษณุโลกที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	บ้านกร่าง - พิษณุโลก	194+769	225+119	30.35	1	1	1+	3.5	1	1	8	1	1	5	1	1	9
10510	AC	4268	ขท.พิษณุโลกที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	ถนนวงแหวนรอบเมืองพิษณุโลกด้านทิศใต้	30+203	46+906	16.703	1	1	1+	3.5	1	1	4	1	1	5	1	1	9
1757	AC	4973	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	หนองยาว - พระพุทธฉาย	0	4+982	4.982	1	1	2	3.5	4	0	2	1	1	5	1	1	9
10936	AC	4419	ขท.น่านที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	หลักลาย - บ่อเกลือ	47+15	90	42.85	2	1	4	4.5	3	0	4	1	1	5	1	1	9
3729	AC	5077	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	บ้านป่า - ท่าคล้อ	0	10	10	1	1	4	3.5	3	0	2	1	1	5	1	1	9
214	AC	4277	ขท.เลยที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	วังสำราญ - วังสะพุง	94+048	118+908	24.86	1	1	3	3.5	2	1	6	1	1	5	1	1	9
5065	AC	4269	ขท.ขอนแก่นที่ 2 (ชุมแพ)	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	โนนหัน - ผานกเค้า	234+052	266+5	32.448	1	1	8	3.5	2	0	4	1	1	5	1	1	9
2462	conc	4283	ขท.อุตรธานีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	ถนนวงแหวนรอบเมืองอุดรธานีด้านทิศตะวันออก	16+478	26+497	10.019	1	1	1+	3.5	1	1	6	1	1	5	1	1	9
4465	conc	4223	ขท.ลำปางที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	เกาะคา - สามัคคี	691+231	710+393	19.162	1	1	1+	3.5	1	1	8	1	1	6	0	1	9
5467	conc	4236	ขท.อยุธยา	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	บางปะอิน - อยุธยา	0	14	14	1	1	1+	3.5	1	1	8	1	1	6	0	1	9
4443	conc	4229	ขท.ลำปางที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	แยกภาคเหนือ - ขุนตาน	462+614	500+307	37.693	1	1	1+	3.5	1	1	8	1	1	6	0	1	9
4464	conc	4223	ขท.ลำปางที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	สบปราบ - เกาะคา	640+617	691+231	50.614	1	1	1+	3.5	1	0	6	1	1	6	0	1	9
10832	conc	4230	ขท.พิษณุโลกที่ 2 (วังทอง	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	ร้องโพธิ์ - วังทอง	238+855	251+355	12.5	2	1	2	7	1	1	6	1	1	6	0	1	9
5475	conc	4225	ขท.สมุทรปราการ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	บางด่าหรุ - คลองด่าน	40+55	62	21.45	2	1	2	3.5	2	1	6	1	1	6	0	1	9
5517	conc	4240	ขท.ระยอง	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	มะขามคู่ - มาบข่า	21+592	36+887	15.295	1	1	1	5.25	1	1	6	1	1	6	0	1	9
1818	conc	4229	ขท.อุตรดิตถ์ที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	นาอิน - ชัยมงคล	271+352	300	28.648	1	1	1+	3.5	1	1	4	1	1	6	0	1	9
73	conc	5069	ขท.นนทบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	บางบัวทอง - ไทรน้อย	13+085	26+323	13.238	1	1	5	3.5	3	0	6	1	1	6	0	1	9
1333	conc	4337	ขท.นนทบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	บางบัวทอง - ลาดบัวหลวง	0	28+441	28.441	1	1	1	3.5	1	1	4	1	1	6	0	1	9
1711	conc	4346	ขท.กรุงเทพ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ - คันนายาว	0	12+328	12.328	1	1	1	3.5	2	1	8	1	1	6	0	1	9
3372	conc	4307	ขท.นครราชสีมาที่ 3	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	ตอนขวาง - โพธิ์กลาง	268+015	297+015	29	1	1	1	3.5	1	1	6	1	1	6	0	1	9
6327	conc	4321	ขท.นครปฐม	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	นครปฐม - หนองปลาไหล	0	21+15	21.15	1	1	1+	3.5	1	1	8	1	1	6	0	1	9
2462	AC	4283	ขท.อุตรธานีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	ถนนวงแหวนรอบเมืองอุดรธานีด้านทิศตะวันออก	16+478	26+497	10.019	2	1	1+	3.5	1	1	8	1	1	4	1	1	8
11209	conc	4231	ขท.เพชรบูรณ์ที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	หัวนา - ลักหลง	244+5	273+775	29.275	1	1	1+	3.5	2	1	4	1	1	5	0	1	8
6152	conc	4844	ขท.นครราชสีมาที่ 3	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	สวนสัตว์นครราชสีมา - ท่าอ่าง	0	12+88	12.88	1	1	1	3.5	4	0	4	1	1	5	0	1	8
5135	AC	4396	ขท.อุตรดิตถ์ที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	เขื่อนสิริกิติ์ - ห้วยหุด	41+373	66+725	25.352	1	1	4	3.5	3	1	4	1	1	3	1	1	7
5033	AC	4288	ขท.ศรีสะเกษที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	ศรีสะเกษ - กุเงิน	0+462	47	46.538	1	1	3	3.5	3	1	6	1	1	2	1	1	6
2248	AC	4246	ขท.แพร่	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	แม่สิน - ป่างเคาะ	190+947	215+931	24.984	1	1	3	3.5	2	0	2	1	1	1	1	1	9

โดยสายทางที่คัดเลือกมานั้น สามารถแสดงตามเขตความรับผิดชอบของสำนักงานทางหลวงทั้ง 12 แห่ง แสดงดังตารางที่ 2-36โดยจากตารางสรุป จะเห็นได้ว่า สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก) มีระยะทางของทางหลวงที่มีข้อมูลครบถ้วนมากที่สุด โดยมีระยะทางรวม 298.56 กิโลเมตร สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่) มีระยะทางรวม 280.04 กิโลเมตร และสำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่) มีระยะทางรวม 107.47 กิโลเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 2-36 สรุประยะทางของสายทางที่คัดเลือก แยกตามสำนักงานทางหลวง และแขวงทางหลวง

สำนักงานทางหลวง	แขวงทางหลวง	ระยะทางรวม
สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	ขท.ลำปางที่ 1	107.469
สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่) Total		**107.469**
สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	ขท.นครราชสีมาที่ 3	41.88
สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา) Total		**41.88**
สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	ขท.สระบุรี	35.993
สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี) Total		**35.993**
สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	ขท.กรุงเทพ	12.328
	ขท.นนทบุรี	41.679
	ขท.สมุทรปราการ	21.45
	ขท.อยุธยา	14
สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ) Total		**89.457**
สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	ขท.ระยอง	15.295
สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี) Total		**15.295**
สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	ขท.นครปฐม	21.15
สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์) Total		**21.15**
สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	ขท.เชียงรายที่ 1	60.468
	ขท.เชียงรายที่ 2	84.861
	ขท.แพร่	91.864
	ขท.น่านที่ 2	42.85
สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่) Total		**280.043**
สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	ขท.ตากที่ 1	99
สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก) Total		**99**
สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	ขท.พิจิตร	86.885
	ขท.พิษณุโลกที่ 1	47.053
	ขท.พิษณุโลกที่ 2 (วังทอ	12.5
	ขท.อุตรดิตถ์ที่ 1	126.776
	ขท.อุตรดิตถ์ที่ 2	25.352
สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก) Total		**298.566**
สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	ขท.เพชรบูรณ์ที่ 1	29.275
	ขท.เลยที่ 1	49.72
สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์) Total		**78.995**
สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	ขท.ขอนแก่นที่ 2 (ชุมแพ	32.448
	ขท.ชัยภูมิ	25.053
	ขท.อุดรธานีที่ 1	20.038
สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น) Total		**77.539**
สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	ขท.ศรีสะเกษที่ 2	46.538
สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี) Total		**46.538**
รวม		**1191.925**

นอกจากนี้ ที่ปรึกษาได้ตรวจสอบความหลากหลายของข้อมูลทั้ง 44 ตอนควบคุมในส่วนของประเภทของผิวทางแสดงดังตารางที่ 2-37 จะเห็นว่าผิวทางทั้งสองประเภทมีร้อยละที่ใกล้เคียงกัน โดยที่มีผิวทางลาดยางมีมากกว่าอยู่ที่ร้อยละ 54.5 และผิวทางคอนกรีตอยู่ที่ร้อยละ 45.5% และมีระยะทางรวมเท่ากับ 695.58 กิโลเมตร และ 496.34 กิโลเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 2-37 ประเภทของผิวทางของตอนควบคุมที่ถูกคัดเลือก

ประเภทของผิวทาง	จำนวนตอนควบคุม	ร้อยละตอนควบคุม	ระยะทาง (กม.)
ผิวทางลาดยาง	24	58.4 %	695.58
ผิวทางคอนกรีต	20	41.6 %	496.34
รวม	44	100 %	1191.93

ในส่วนของลำดับชั้นของถนนของตอนควบคุมที่ถูกคัดเลือกโดยแบ่งตามประเภทของผิวทาง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2-38 อีกทั้งตอนควบคุมที่มีหรือไม่มีเกาะกลางถนน แสดงดังตารางที่ 2-39 และจำนวนช่องจราจรของตอนควบคุม แสดงดังตารางที่ 2-40

ตารางที่ 2-38 รายละเอียดของลำดับชั้นถนนของตอนควบคุมที่ถูกคัดเลือก

ลำดับชั้นถนน	ผิวทางลาดยาง		ผิวทางคอนกรีต	
	ระยะทาง (กม.)	ร้อยละของระยะทาง	ระยะทาง (กม.)	ร้อยละของระยะทาง
1	268.39	22.5 %	382.312	32.1 %
2	162.555	13.6 %	87.913	7.4 %
3	259.655	21.8 %	13.238	1.1 %
4	4.982	0.4 %	12.88	1.1 %
รวม	695.582	58.4 %	496.343	41.6 %

ตารางที่ 2-39 รายละเอียดของเกาะกลางถนนของตอนควบคุมที่ถูกคัดเลือก

เกาะกลางถนน	ผิวทางลาดยาง		ผิวทางคอนกรีต	
	ระยะทาง (กม.)	ร้อยละของระยะทาง	ระยะทาง (กม.)	ร้อยละของระยะทาง
ไม่มี	348.484	29.2 %	76.732	6.4 %
มี	347.098	29.1 %	419.611	35.2 %
รวม	695.582	58.4 %	496.343	41.6 %

ตารางที่ 2-40 รายละเอียดจำนวนช่องจราจรของตอนควบคุมที่ถูกคัดเลือก

จำนวนช่องจราจร	ผิวทางลาดยาง		ผิวทางคอนกรีต	
	ระยะทาง (กม.)	ร้อยละของระยะทาง	ระยะทาง (กม.)	ร้อยละของระยะทาง
2	133.08	11.2 %	0	0.0 %
4	414.181	43.7 %	190.394	16.0 %
6	71.398	6.0 %	201.616	16.9 %
8	76.923	6.5 %	104.333	8.8 %
รวม	695.582	58.4 %	496.343	41.6 %

บทที่ 3
งานสำรวจข้อมูลภาคสนาม และ ตรวจสอบความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูล

3.1 งานสำรวจข้อมูลภาคสนาม

ที่ปรึกษาจะสำรวจและประเมินสภาพสายทางที่ได้รับการคัดเลือกในข้อ 2.3 โดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจสภาพถนนตามมาตรฐานสากล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ความเสียหายของผิวทาง

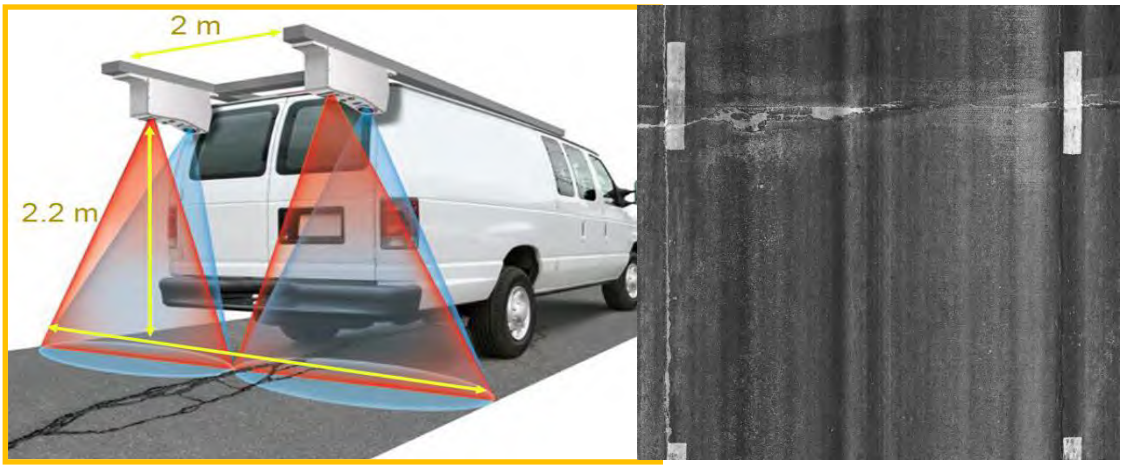
3.1.1.1 รายละเอียดงานสำรวจ

ที่ปรึกษาจะดำเนินการสำรวจและเปรียบเทียบผลสำรวจ ตรวจสอบ และประเมินสภาพทางหลวง โดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจด้วยชุดเลเซอร์ LASER CRACK MEASUREMENT SYSTEM (LCMS) ซึ่งติดตั้งบนยานพาหนะและการสำรวจด้วยถ่ายภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การสำรวจด้วยชุดเลเซอร์ LCMS

ที่ปรึกษาจะสำรวจสภาพถนนด้วยชุดเครื่องมือเลเซอร์ LCMS ที่มีระบบการวัดรอยแตกด้วยเลเซอร์ โดยใช้การฉายแสงของเลเซอร์ กล้องความเร็วสูง และเลนส์ขั้นสูง เพื่อใช้ในการสร้างข้อมูลภาพทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ ของพื้นผิวถนน พร้อมประมวลผลโดยระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection)

โดย Laser Crack Measurement System (LCMS) เป็นเครื่องมือเลเซอร์สำหรับสำรวจสภาพทางเทคโนโลยีล่าสุดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันที่มีความแม่นยำสูง สามารถสำรวจข้อมูลสภาพทางออกมาในรูปแบบของ 3D profiles ความละเอียดสูง อุปกรณ์เลเซอร์สามารถสร้างภาพถ่ายผิวทาง และมีระบบประมวลผลขนาดและชนิดของความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) แบบอัตโนมัติ (Automatic Cracking Detection) ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) สามารถระบุค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และสามารถบันทึกภาพผิวทางได้อย่างต่อเนื่องและครอบคลุมความกว้างไม่น้อยกว่า 4.0 เมตร หรือ 1 ช่องจราจร โดยมีรายละเอียดของกล้อง แสดงดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 อุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) และตัวอย่างภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS)

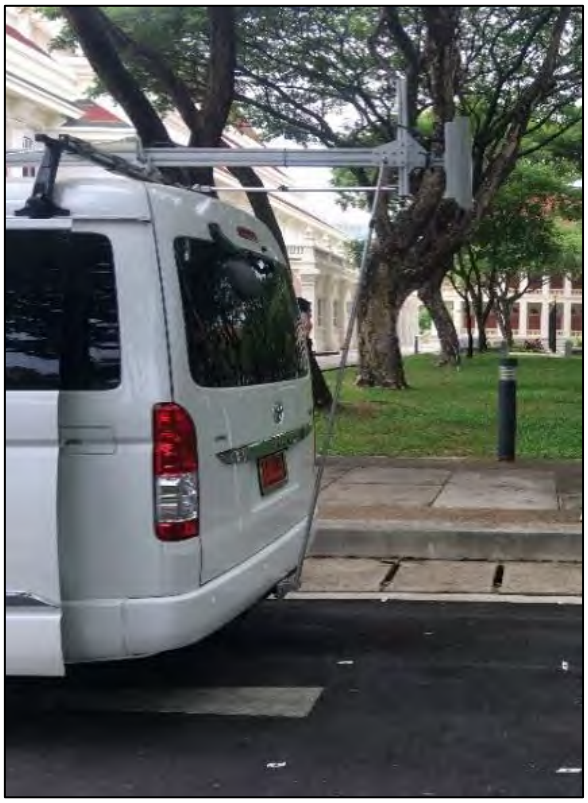
ตารางที่ 3-1 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง โดยการใช้อุปกรณ์ LCMS

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของภาพ	น้อยกว่า 1 เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง (HRDMI 10,000 rpm., resolution distance < 1 มม.)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	บันทึกภาพด้วย Laser 4,096 จุดทุก 1 มม. ได้ความกว้างถนนที่ 4 เมตร และบันทึก ทุกระยะ 5 มม. ตามแนวถนน	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
ขนาดของภาพ	ความละเอียดสูงสุด 4,090x10,000 Pixels	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
สี	Mono	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วในการเก็บข้อมูล	ไม่เกิน 100 กม./ชม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	JPG	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ

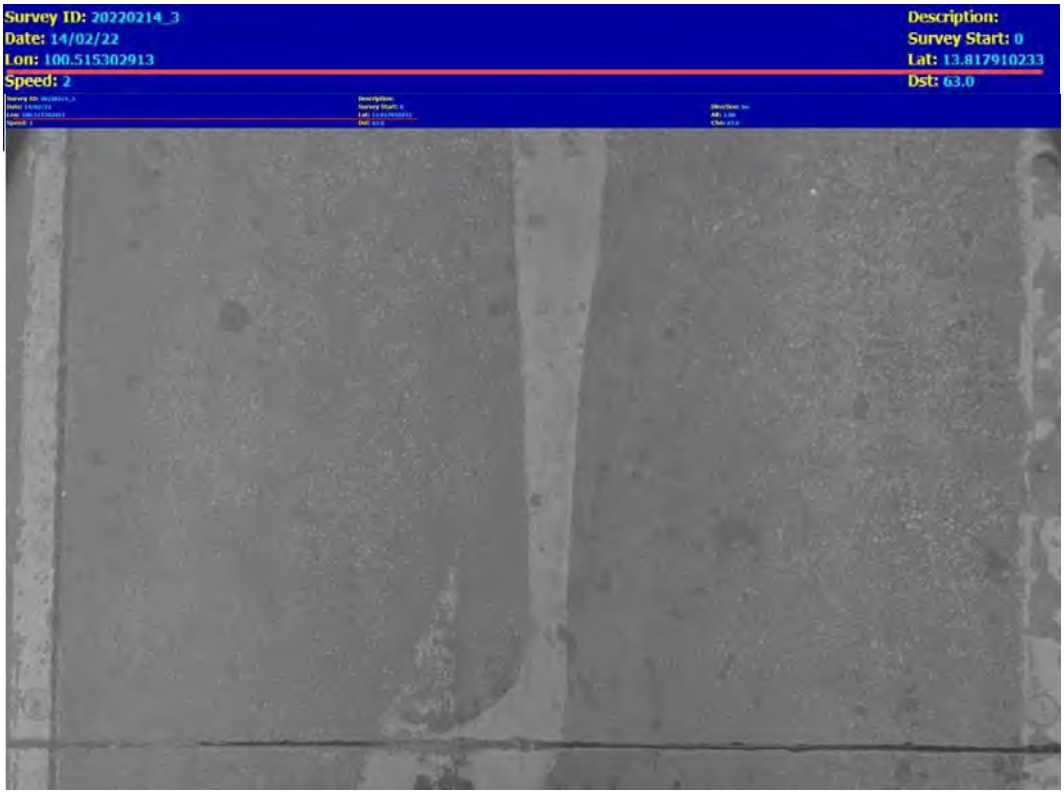
2) การสำรวจด้วยการถ่ายภาพ

ที่ปรึกษาจะสำรวจด้วยชุดเครื่องมือ Pavement Camera ที่มีอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง สามารถบันทึกภาพได้อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงสายทาง โดยสามารถคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และกำหนดระยะห่างระหว่างภาพของการสำรวจได้ พร้อมประมวลผลความเสียหายผิวทางจากภาพถ่าย โดยมีรายละเอียดเครื่องมือดังต่อไปนี้

ชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวจราจร จะสามารถบันทึกภาพผิวจราจร ได้อย่างต่อเนื่องและครอบคลุมความกว้างไม่น้อยกว่า 1 ช่องจราจร หรือ 3.5 เมตร พร้อมทั้งสามารถคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งของภาพทุก ๆ 25 เมตร หรือน้อยกว่าได้ โดยกล้องบันทึกภาพผิวทาง เป็นกล้องบันทึกภาพที่มีความละเอียดสูง สามารถเก็บภาพได้คมชัดในสภาวะแสงน้อยถึงน้อยมากได้ ใช้เพื่อบันทึกภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทาง เก็บรายละเอียดลักษณะความเสียหายของถนน ขนาด และประเภทของการแตกร้าว และสามารถนำไปประเมินความเสียหายของผิวทางด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางจากภาพถ่ายจากการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) ได้



รูปที่ 3-2 กล้องถ่ายภาพผิวจราจร



รูปที่ 3-3 ตัวอย่างภาพจากกล้องถ่ายภาพผิวทาง ที่สามารถคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งของภาพได้

ตารางที่ 3-2 รายละเอียดกล้องถ่ายภาพผิวทาง

กล้อง	รายละเอียด
ความคลาดเคลื่อนของภาพ	น้อยกว่า 1 เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง (DMI Distance Sensor)
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet (GigE)
ขนาดของภาพ	ความละเอียด 1,600 x 1,200 พิกเซล (Pixels) สามารถปรับความละเอียดได้สูงสุด 3,200 x 2,200 พิกเซล (Pixels)
สี	Mono 8bit
ความเร็วในการเก็บข้อมูล	ไม่เกิน 80 กม./ชม.
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ภาพชนิด JPG

3.1.1.2 ผลการสำรวจ

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการสำรวจด้วยเครื่องมือ LCMS และ Pavement Camera จำนวน 36 สายทาง ระยะทางรวม 1,027 กิโลเมตร ซึ่งครอบคลุมตาม TOR ที่ระบุไว้ 20 สายทาง 900 กิโลเมตร และได้ทำการประเมินผลข้อมูล โดยผลการสำรวจจะอยู่ในรูปของผลรวมของความเสียหายของสายทางนั้น ๆ แสดงดังตารางที่ 3-3 และตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-3 สายทางสำรวจค่าความเสียหายของผิวทาง

ลำดับ	รหัสตอนควบคุม	ผิวทาง	สายทาง	ตอนควบคุม	ชื่อแขวง	ชื่อสำนักงานทางหลวง	ชื่อสายทาง	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทางฝั่งซ้าย	ระยะทางฝั่งขวา	ระยะทางรวม
1	5313	AC	3196	200	ขท.นครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	ปากคลองห้า - จันเสน	2+100	30+500	28.4		28.4
2	5464	AC	3196	301	ขท.ลพบุรีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	จันเสน - ท่าแค	30+500	63+800	33.3		33.3
3	1757	AC	3042	100	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	หนองยาว - พระพุทธฉาย	0+000	4+982	4.982		4.982
4	5444	AC	3224	102	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	ท่าคล้อ - แสลงพัน	10+000	31+011	21.011		21.011
5	5712	conc	3211	100	ขท.ชัยนาท	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	ทางเข้าหันคา - กะบกเตี้ย	0+000	40+802	40.802	40.802	81.604
6	1382	conc	303	100	ขท.สมุทรปราการ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	ราษฎร์บูรณะ - พระสมุทรเจดีย์	6+463	21+732	15.269	15.269	30.538
7	1890	conc	306	102	ขท.นนทบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	แคราย - คลองบ้านใหม่	7+909	20+601	12.692	12.692	25.384
8	2034	conc	3344	100	ขท.สมุทรปราการ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	อุดมสุข - สมุทรปราการ	10+000	20+181	10.181		10.181
9	3968	conc	3119	102	ขท.กรุงเทพ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	แยกเคหะร่มเกล้า - ลาดกระบัง	5+309	11+003	5.694	5.694	11.388
10	5487	conc	3256	102	ขท.สมุทรปราการ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	บางพลี - กิ่งแก้ว	10+012	23+929	13.917	13.917	27.834

ตารางที่ 3-3 สายทางสำรวจค่าความเสียหายของผิวทาง (ต่อ)

ลำดับ	รหัสตอนควบคุม	ผิวทาง	สายทาง	ตอนควบคุม	ชื่อแขวง	ชื่อสำนักงานทางหลวง	ชื่อสายทาง	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทางฝั่งซ้าย	ระยะทางฝั่งขวา	ระยะทางรวม
11	73	conc	3215	102	ขท.นนทบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	บางบัวทอง - ไทรน้อย	13+085	26+323	13.238		13.238
12	1711	conc	351	100	ขท.กรุงเทพ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ - คันนายาว	0+000	12+328	12.328	12.328	24.656
13	5545	conc	315	200	ขท.ชลบุรีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	หัวไผ่ - ชลบุรี	25+163	44+551	17.12		17.12
14	5545	AC	315	200	ขท.ชลบุรีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	หัวไผ่ - ชลบุรี	25+163	44+551	2.268		2.268
15	2606	AC	4003	100	ขท.ชุมพร	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	สวี - บ่อคา	2+875	15+282	12.407		12.407
16	2514	conc	401	302	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	กิโลศูนย์ - หนองบัว	145+542	152+479	6.937		6.937
17	2328	AC	4246	100	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 3 (เวียงสระ)	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	เขาวง - หน้าเขา	0+000	30+420	30.42		30.42
18	308	AC	4219	100	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 3 (เวียงสระ)	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	ปลายหลิก - ทับใหม่	0+000	22+150	22.15		22.15
19	10622	AC	4009	101	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 2 (กาญจนดิษฐ์)	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	บางใหญ่ - ซอยสิบ	3+450	18+000	14.55	14.55	29.1
20	3983	AC	4030	100	ขท.ภูเก็ต	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	ถลาง - หาดราไวย์	22+990	28+290	5.3		5.3

ตารางที่ 3-3 สายทางสำรวจค่าความเสียหายของผิวทาง (ต่อ)

ลำดับ	รหัสตอนควบคุม	ผิวทาง	สายทาง	ตอนควบคุม	ชื่อแขวง	ชื่อสำนักงานทางหลวง	ชื่อสายทาง	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทางฝั่งซ้าย	ระยะทางฝั่งขวา	ระยะทางรวม
21	3984	AC	4030	100	ขท.ภูเก็ต	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	ถลาง - หาดราไวย์	0+000	22+390	22.39		22.39
22	2296	AC	4009	300	ขท.พังงา	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	บางหล่อ - อ่าวลึก	119+437	150+887	31.45		31.45
23	1247	AC	4029	100	ขท.ภูเก็ต	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	กะทู้ - ป่าตอง	0+000	3+236	3.236		3.236
24	950	AC	4311	100	ขท.พังงา	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	พังงา - ทับปุด	0+560	21+690	21.13	21.13	42.26
25	1513	AC	4091	102	ขท.ระนอง	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	เขาค่าย - เขาปีบ	56+173	70+358	14.185		14.185
26	1961	AC	4091	101	ขท.ระนอง	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	บางสีกิ้ม - เขาค่าย	0+000	56+173	56.173		56.173
27	1347	conc	419	100	ขท.ตรัง	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	ถนนวงแหวนรอบเมืองตรัง	0+000	31+255	31.255		31.255
28	694	AC	4045	100	ขท.ตรัง	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	บางรัก - ควนขัน	0+000	5+294	5.294		5.294
29	2436	AC	4023	100	ขท.ภูเก็ต	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	เมืองภูเก็ต – แหลมพันวา	0+000	8+770	8.77		8.77
30	11148	AC	406	102	ขท.สตูล	สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	ค่ายรวมมิตร - คลองขุด	54+775	89+115	34.34		34.34

ตารางที่ 3-3 สายทางสำรวจค่าความเสียหายของผิวทาง (ต่อ)

ลำดับ	รหัสตอนควบคุม	ผิวทาง	สายทาง	ตอนควบคุม	ชื่อแขวง	ชื่อสำนักงานทางหลวง	ชื่อสายทาง	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทางฝั่งซ้าย	ระยะทางฝั่งขวา	ระยะทางรวม
31	805	conc	408	203	ขท.สงขลาที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	เกาะยอ - ทุ่งหวัง	165+583	182+261	16.678	16.678	33.356
32	2475	AC	4184	100	ขท.สตูล	สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	ควนสตอ – ด่านชายแดนวังประจัน (เขตแดนไทย/มาเลเซีย)	0+000	21+850	21.85		21.85
33	3564	AC	1033	100	ขท.ลำพูน	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	แม่ทา - ท่าจักร	0+000	33+237	33.237		33.237
34	10960	AC	1020	100	ขท.เชียงรายที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	เชียงราย - โป่งเกลือ	0+000	27+849	27.849		27.849
35	3489	AC	1150	200	ขท.เชียงรายที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	ขุนแจ๋ - เวียงป่าเป้า	53+000	82+043	29.043		29.043
36	10432	AC	1098	102	ขท.เชียงรายที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	ท่าข้าวเปลือก - แก่นใต้	10+780	54+963	44.183		44.183
37	4335	AC	1174	102	ขท.เชียงรายที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	แม่ต๋ำน้อย - ทุ่งงิ้ว	43+504	84+182	40.678		40.678
38	5013	AC	115	301	ขท.พิจิตร	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	บึงบัว - คลองโนน	56+215	80+000	23.785		23.785
39	4192	conc	210	201	ขท.หนองบัวลำภู	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	นิคมเขียงพิณ - หนองบัวลำภู	9+848	44+418	34.57	34.57	69.14

ตารางที่ 3-3 สายทางสำรวจค่าความเสียหายของผิวทาง (ต่อ)

ลำดับ	รหัสตอนควบคุม	ผิวทาง	สายทาง	ตอนควบคุม	ชื่อแขวง	ชื่อสำนักงานทางหลวง	ชื่อสายทาง	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทางฝั่งซ้าย	ระยะทางฝั่งขวา	ระยะทางรวม
40	2095	conc	216	101	ขท.อุดรธานีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	ถนนวงแหวนรอบเมืองอุดรธานีด้านทิศใต้	0+000	8+398	8.398		8.398
41	10521	AC	201	202	ขท.ชัยภูมิ	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	บ้านลี่ - สี่แยกโรงต้ม	101+564	126+617	25.053		25.053
รวม							**36**	**สายทาง**		**1027**	**กิโลเมตร**	

ตารางที่ 3-4 ข้อมูลสำรวจความเสียหายผิวทางด้วย LCMS

สายทาง	ตอนควบคุม	เครื่องมือสำรวจ	รอยแตกหลุดร่อน (ตารางเมตร)	รอยปะซ่อม (ตารางเมตร)	การเยิ้ม (ตารางเมตร)	หลุมบ่อ (ตารางเมตร)
3215	102	LCMS	358.87	0.00	1.82	0.30
4219	100	LCMS	1159.18	147.00	0.00	0.19
4045	100	LCMS	344.59	27.70	0.00	1.24
408	203	LCMS	1534.22	5.38	0.00	0.16
4311	100	LCMS	5990.28	642.93	0.00	0.40
4029	100	LCMS	505.68	51.38	0.00	0.31
419	100	LCMS	1742.25	237.20	1.86	0.34
303	100	LCMS	931.16	785.52	0.00	1.13
4091	102	LCMS	746.60	108.92	0.00	0.29
351	100	LCMS	281.40	222.81	0.00	0.35
3042	100	LCMS	239.58	5.06	0.00	0.00
306	102	LCMS	616.42	52.31	1.92	0.54
4091	101	LCMS	2358.73	651.38	1.89	5.66
3344	100	LCMS	147.21	0.00	0.00	0.35
216	101	LCMS	920.04	62.64	1.85	0.00
4009	300	LCMS	2803.19	72.56	0.00	1.03

ตารางที่ 3-4 ข้อมูลสำรวจความเสียหายผิวทางด้วย LCMS (ต่อ)

สายทาง	ตอนควบคุม	เครื่องมือสำรวจ	รอยแตกหลุดร่อน (ตารางเมตร)	รอยปะซ่อม (ตารางเมตร)	การเยิ้ม (ตารางเมตร)	หลุมบ่อ (ตารางเมตร)
4246	100	LCMS	1307.04	97.30	0.00	0.36
4023	100	LCMS	681.41	235.72	0.00	1.07
4184	100	LCMS	1131.18	0.00	5.57	1.10
401	302	LCMS	36.10	4.00	0.00	0.00
4003	100	LCMS	180.59	4.25	0.00	0.63
1150	200	LCMS	1499.06	330.28	7.33	0.25
1033	100	LCMS	3081.66	860.93	1.92	0.21
306	200	LCMS	128.22	0.00	0.00	0.02
3119	102	LCMS	103.86	35.64	0.00	0.04
4030	100	LCMS	730.63	193.68	0.00	0.30
4030	100	LCMS	2235.03	225.18	0.00	2.51
210	201	LCMS	6006.71	2984.88	0.00	0.86
1174	102	LCMS	1173.89	7603.68	0.00	0.41
210	100	LCMS	1083.15	349.67	0.00	0.06
115	301	LCMS	886.08	1275.14	7.48	0.45
3196	200	LCMS	1738.56	524.09	1.81	1.56
3224	102	LCMS	2479.64	848.98	0.00	0.12

ตารางที่ 3-4 ข้อมูลสำรวจความเสียหายผิวทางด้วย LCMS (ต่อ)

สายทาง	ตอนควบคุม	เครื่องมือสำรวจ	รอยแตกหลุดร่อน (ตารางเมตร)	รอยปะซ่อม (ตารางเมตร)	การเยิ้ม (ตารางเมตร)	หลุมบ่อ (ตารางเมตร)
3196	301	LCMS	2198.54	5346.45	7.30	1.42
3256	102	LCMS	414.50	38.77	0.00	0.14
315	200	LCMS	222.53	619.11	0.00	0.00
3211	100	LCMS	4293.37	632.64	1.83	0.12
1098	102	LCMS	1247.03	3153.74	0.00	0.41
201	202	LCMS	2245.96	661.48	1.79	0.69
4009	101	LCMS	513.72	5.65	0.00	0.67
1020	100	LCMS	2264.23	632.01	0.00	0.09
406	102	LCMS	2265.04	1.65	5.50	1.46

ตารางที่ 3-5 ข้อมูลสำรวจความเสียหายผิวทางด้วย Pavement Camera

สายทาง	ตอนควบคุม	เครื่องมือสำรวจ	รอยแตกหลุดร่อน (ตารางเมตร)	รอยปะซ่อม (ตารางเมตร)	การเยิ้ม (ตารางเมตร)	หลุมบ่อ (ตารางเมตร)
3215	102	TPL	45.47	0.00	0.00	0.00
4219	100	TPL	1606.54	42.85	219.76	0.00
4045	100	TPL	154.74	27.62	24.53	0.98
408	203	TPL	141.88	7.77	300.04	0.13
4311	100	TPL	2243.15	673.07	0.00	0.00
4029	100	TPL	429.43	190.35	0.00	0.00
419	100	TPL	383.66	256.31	0.00	0.34
303	100	TPL	1251.99	785.52	81.77	0.00
4091	102	TPL	3545.51	199.41	0.00	0.00
351	100	TPL	865.92	222.81	53.55	0.00
3042	100	TPL	255.90	5.06	91.03	0.82
306	102	TPL	1119.03	52.31	1160.03	0.40
4091	101	TPL	1211.91	1093.98	0.00	0.30
3344	100	TPL	437.75	0.00	204.01	0.00
216	101	TPL	247.98	62.64	153.43	0.49
4009	300	TPL	1994.96	73.85	0.00	0.00
4246	100	TPL	389.45	97.30	33.45	0.00

ตารางที่ 3-5 ข้อมูลสำรวจความเสียหายผิวทางด้วย Pavement Camera (ต่อ)

สายทาง	ตอนควบคุม	เครื่องมือสำรวจ	รอยแตกหลุดร่อน (ตารางเมตร)	รอยปะซ่อม (ตารางเมตร)	การเยิ้ม (ตารางเมตร)	หลุมบ่อ (ตารางเมตร)
4023	100	TPL	68.95	319.85	0.00	0.00
4184	100	TPL	386.59	13.21	2732.29	0.00
401	302	TPL	40.59	4.00	135.53	6.27
4003	100	TPL	103.96	49.56	953.65	0.00
1150	200	TPL	1887.04	330.28	21.98	0.71
1033	100	TPL	936.68	860.93	485.35	0.00
306	200	TPL	149.63	0.00	952.33	0.00
3119	102	TPL	524.99	35.64	742.57	0.00
4030	100	TPL	395.65	214.22	0.00	0.00
4030	100	TPL	742.45	305.30	0.00	0.00
210	201	TPL	2548.64	2984.88	332.28	1.19
1174	102	TPL	5034.55	7603.68	0.00	0.49
210	100	TPL	124.62	349.67	19.33	0.24
115	301	TPL	6579.49	1288.70	914.74	5.65
3196	200	TPL	7870.17	524.09	368.43	1.41
3224	102	TPL	1187.57	848.98	546.21	0.00
3196	301	TPL	6632.64	5346.45	128.58	1.26

ตารางที่ 3-5 ข้อมูลสำรวจความเสียหายผิวทางด้วย Pavement Camera (ต่อ)

สายทาง	ตอนควบคุม	เครื่องมือสำรวจ	รอยแตกหลุดร่อน (ตารางเมตร)	รอยปะซ่อม (ตารางเมตร)	การเยิ้ม (ตารางเมตร)	หลุมบ่อ (ตารางเมตร)
3256	102	TPL	106.49	38.77	953.93	0.23
315	200	TPL	222.51	619.11	20.50	0.00
3211	100	TPL	1451.66	632.64	275.61	0.59
1098	102	TPL	3952.12	3153.74	0.00	0.00
201	202	TPL	1421.16	661.48	180.28	4.37
4009	101	TPL	249.32	26.64	937.69	0.00
1020	100	TPL	1534.65	632.01	0.00	0.00
406	102	TPL	412.01	15.25	6755.21	0.00

ตารางที่ 3-6 ข้อมูลสำรวจความเสียหายผิวทางด้วย LCMS

สายทาง	ตอนควบคุม	เครื่องมือสำรวจ	รอยแตกตามยาว (แผ่น)	ความเสียหายประเภทอื่นที่ไม่ใช่รอยแตกตามยาว
4045	100	LCMS	0	4.93
408	203	LCMS	0	64.96
4311	100	LCMS	0	35.43
419	100	LCMS	0	23.11
303	100	LCMS	0	2921.53
351	100	LCMS	0	540.86
3042	100	LCMS	0	3.47
306	102	LCMS	1	427.25
3344	100	LCMS	0	597.19
216	101	LCMS	0	255.73
401	302	LCMS	4	389.75
4003	100	LCMS	0	4.12
1033	100	LCMS	0	21
306	200	LCMS	0	10.31
3119	102	LCMS	0	847.71
210	201	LCMS	0	146.65
1174	102	LCMS	0	13.62
210	100	LCMS	0	8.86
115	301	LCMS	0	217.65
3224	102	LCMS	0	38.8
3256	102	LCMS	0	1540.32
315	200	LCMS	0	2463.93
3211	100	LCMS	0	395.55
201	202	LCMS	0	29
4009	101	LCMS	0	5.85
1020	100	LCMS	1	543.46
406	102	LCMS	0	1

ตารางที่ 3-7 ข้อมูลสำรวจความเสียหายผิวทางด้วย TPL

สายทาง	ตอนควบคุม	เครื่องมือสำรวจ	รอยแตกตามยาว (แผ่น)	ความเสียหายประเภทอื่นที่ไม่ใช่รอยแตกตามยาว
4045	100	TPL	1	23.75
408	203	TPL	28	219.79
4311	100	TPL	1	51.3
419	100	TPL	5	47
303	100	TPL	115	2931.81
351	100	TPL	114	648.49
3042	100	TPL	3	6.47
306	102	TPL	105	441.38
3344	100	TPL	139	578.08
216	101	TPL	9	266.74
401	302	TPL	43	490.01
4003	100	TPL	0	3.78
1033	100	TPL	4	22.01
306	200	TPL	15	12.92
3119	102	TPL	128	871.09
210	201	TPL	12	294.53
1174	102	TPL	0	13.62
210	100	TPL	0	18.03
115	301	TPL	12	8.07
3224	102	TPL	0	44.8
3256	102	TPL	310	1563.6
315	200	TPL	536	2473.58
3211	100	TPL	163	462.27
201	202	TPL	1	31.01
4009	101	TPL	1	14.59
1020	100	TPL	0	567.56
406	102	TPL	0	11.76

3.1.1.3 เปรียบเทียบเครื่องมือ LCMS กับ TPL

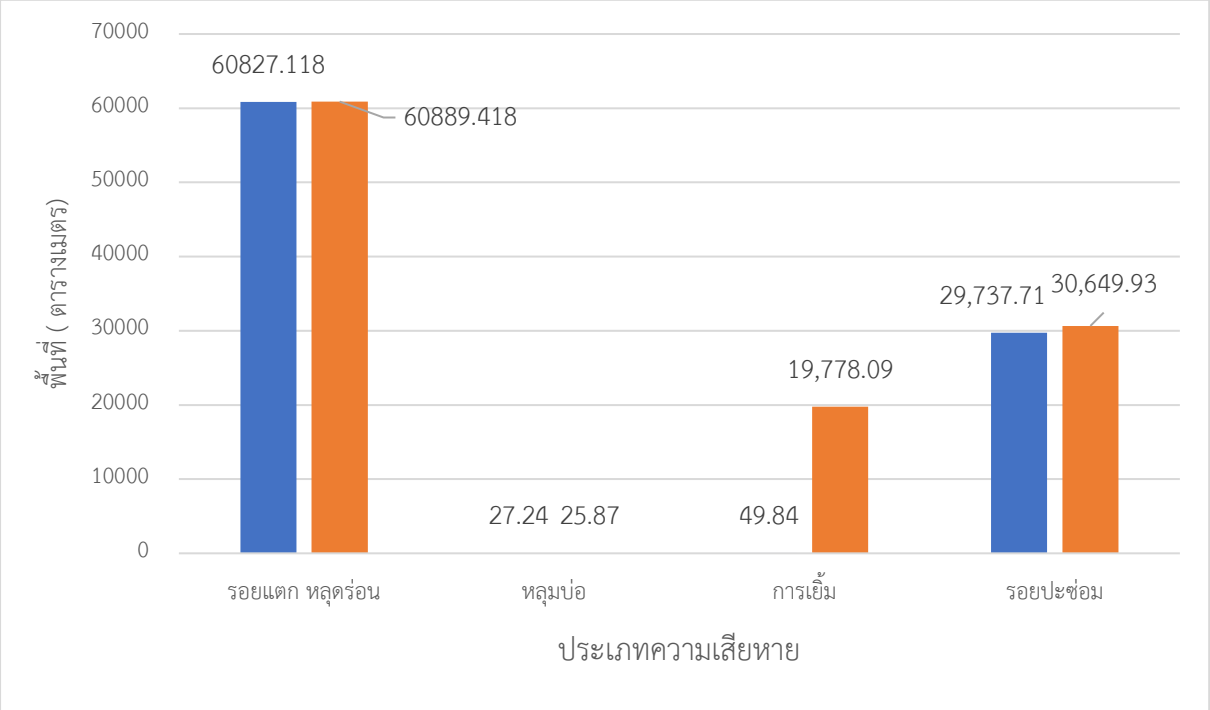
ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบข้อมูลค่าสำรวจ ด้วย LCMS และ Pavement Camera สรุปความเสียหายของผิวทาง แสดงดังตารางที่ 3-8 และตารางที่ 3-9 และรูปที่ 3-4 และ รูปที่ 3-5

ตารางที่ 3-8 สรุปความเสียหายของผิวทาง AC ด้วย Pavement Camera และ LCMS

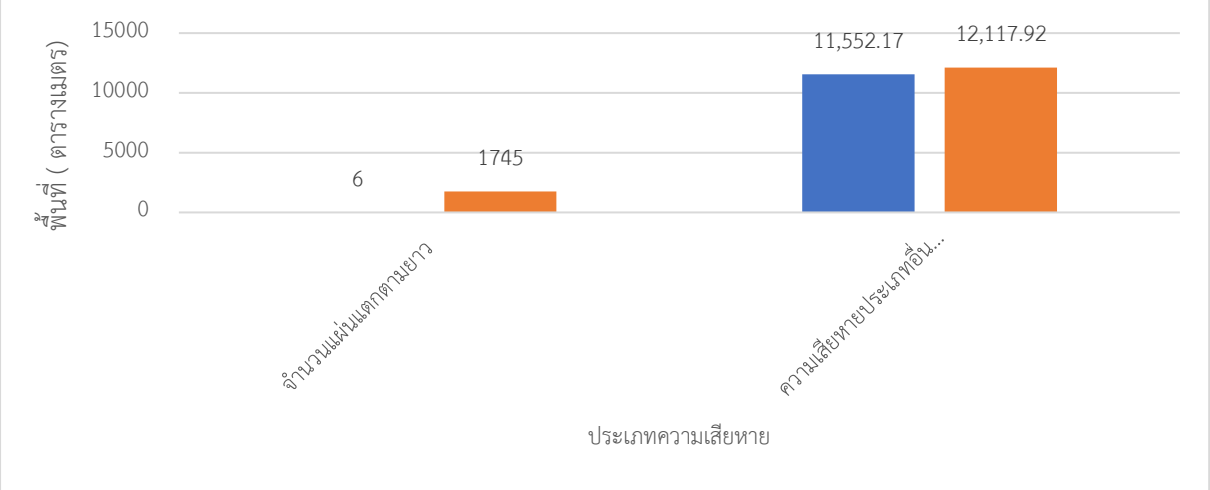
รายละเอียด	รอยแตก หลุดร่อน	รอยปะซ่อม	การเยิ้ม	หลุมบ่อ
LCMS	60,827.118	29,737.71	49.84	27.24
TPL	60,889.418	30,649.93	19,778.09	25.87
ผลต่าง	62.3	912.22	19,728.3	1.37
ร้อยละของผลต่าง	0.10%	2.98%	99.75%	5.30%

ตารางที่ 3-9 สรุปความเสียหายของผิวทาง CC ด้วย Pavement Camera และ LCMS

รายละเอียด	จำนวนแผ่นแตกตามยาว	ความเสียหายประเภทอื่นที่ไม่ใช่จำนวนแผ่นแตกตามยาว
LCMS	6	11,552.17
TPL	1,745	12,117.92
ผลต่าง	1,739	565.75
ร้อยละของผลต่าง	100%	5%



รูปที่ 3-4 รูปภาพแสดงการเปรียบเทียบความเสียหายจากเครื่องมือ LCMS กับ TPL ผิวทาง AC



รูปที่ 3-5 รูปภาพแสดงการเปรียบเทียบความเสียหายจากเครื่องมือ LCMS กับ TPL ผิวทาง CC

จากรูปที่ 3-4 พบว่าความเสียหายผิวทางลาดยาง พบว่าค่าที่ประเมินด้วย LCMS และ TPL พบว่า ความเสียหายในส่วนของร่องล้อ รอยแตก หลุดล่อน และ รอยปะซ่อม ค่าที่ประเมินได้จาก 2 อุปกรณ์ มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนของการเยิ้มนั้น LCMS ประเมินได้น้อยกว่า อุปกรณ์ TPL ค่อนข้างเยอะ

จากรูปที่ 3-5 พบว่าความเสียหายผิวทางคอนกรีต พบว่าค่าที่ประเมินในส่วนของความเสียหายทั้งหมดยกเว้น จำนวนแผ่นแตกตามยาว ค่าที่ได้จาก LCMS และ TPL มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนของจำนวนแผ่นแตกตามยาวนั้น LCMS ประเมินได้น้อยกว่า TPL ค่อนข้างเยอะ

3.1.2 ความเรียบของถนน

3.1.2.1 รายละเอียดงานสำรวจ

ที่ปรึกษาจะสำรวจค่าความเรียบของถนนด้วยชุดอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดความเสียหายชนิดประเภทความเรียบของผิวทาง โดยสามารถตรวจวัดและคำนวณเป็นค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) ตามมาตรฐาน ASTM E950 (Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference) และต้องสามารถตรวจวัดสภาพผิวทางได้ โดยมีความละเอียดดีกว่าหรือเท่ากับ 25 มิลลิเมตร โดยสามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับเครื่องมือระบุตำแหน่งโดยใช้สัญญาณดาวเทียม โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์สำรวจดังต่อไปนี้

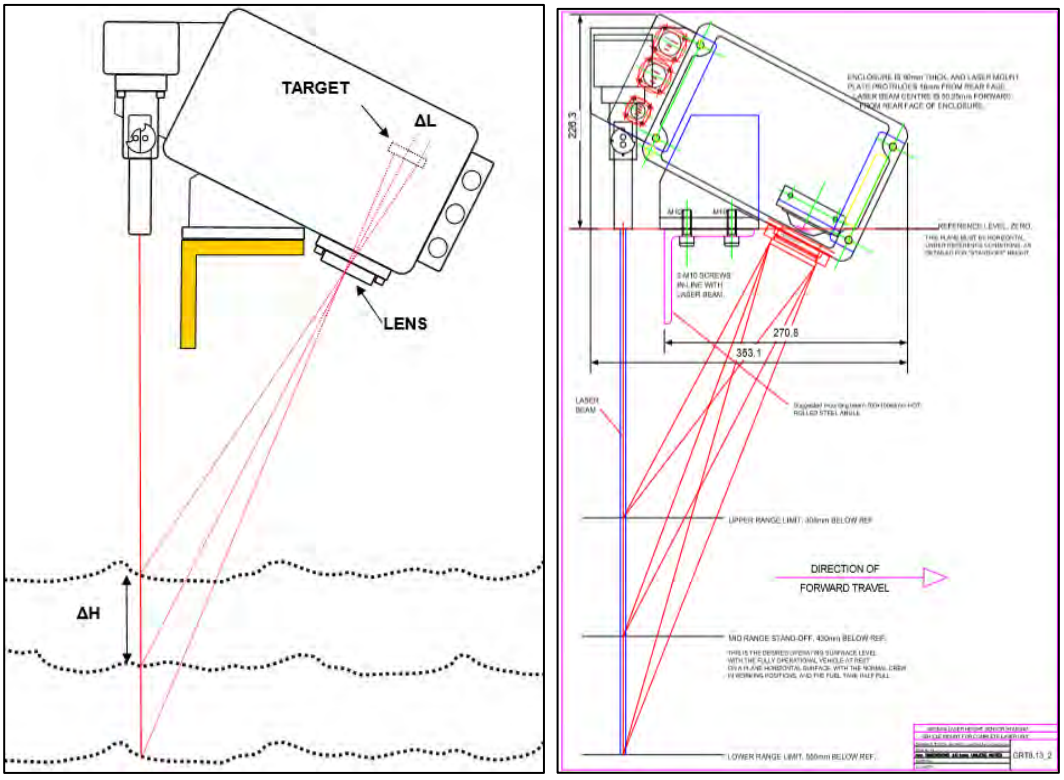
ชุดอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index;IRI) เป็นเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดและคำนวณเป็นหน่วย เมตรต่อกิโลเมตรได้ สามารถคำนวณทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่าได้ และเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E950 โดยเมื่อนำข้อมูลความเสียหายที่ได้จากอุปกรณ์เลเซอร์ เข้าสู่กระบวนการประมวลผลจะสามารถเชื่อมโยงกับข้อมูลพิกัดตำแหน่งแบบ DGPS ที่ได้จากเครื่องมือระบุตำแหน่งโดยใช้สัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ ในรูปแบบทศนิยมอย่างน้อย 6 ตำแหน่ง บนพื้นหลักฐานอ้างอิง WGS84 ที่สามารถนำไปคำนวณเป็นระยะทางได้

Equipment Classification	Precision (1 SD)	Bias
1	0.38 mm (0.015 in.)	1.25 mm (0.050 in.)
2	0.76 mm (0.030 in.)	2.50 mm (0.100 in.)
3	2.50 mm (0.100 in.)	6.25 mm (0.250 in.)

รูปที่ 3-6 ตัวอย่างการจำแนกระดับขั้น (Class) ของอุปกรณ์ตรวจวัด ตามระดับความแม่นยำและความถี่ของการบันทึกข้อมูลตามระยะทางสำรวจ เพื่อประมวลผลค่าโพรไฟล์ของผิวทาง (Pavement Profile) ตามมาตรฐาน ASTM E950



รูปที่ 3-7 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์



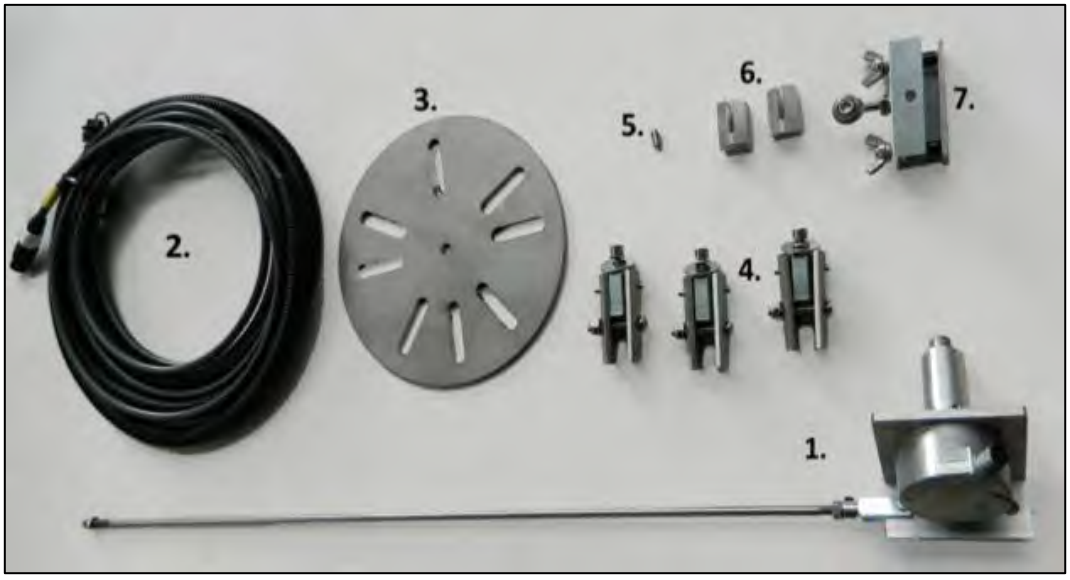
รูปที่ 3-8 แสดงการทำงานเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์

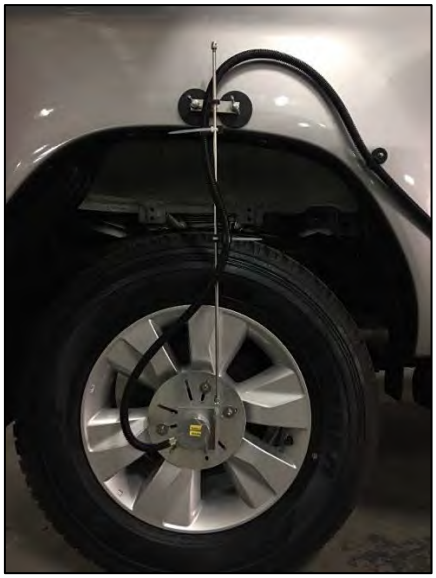
ตารางที่ 3-10 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์

ข้อมูล	รายละเอียด
จำนวนชุดเลเซอร์	15 ชุด
อัตราการเก็บข้อมูลค่าระดับ	สามารถกำหนดได้โดยทั่วไปเก็บทุกระยะ 25 มม.
อัตราการเก็บข้อมูล texture ของผิวทาง	1 มม. สำหรับ Mean Profile Dept Measurement (MPD)
ความเร็วรถในการเก็บข้อมูล	20 ถึง 90 กม./ชม.
มาตรฐานในการเก็บข้อมูล	ASTM E950 Class 1 Requirement for The Measurement of Longitudinal Profile AASHTO PP37 Provisional Standard of Quantifying Roughness of Pavement World Bank Technical Report 42 Class 1 AustRoad Guideline ASTM E1845 Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth ASTM E1703 Standard Test Method for Measuring Rut-Dept Of Pavement Surface Using A Straightedge
ความละเอียดในการเก็บข้อมูล	0.5 มม.
ความยาวคลื่นของการเก็บข้อมูลค่าระดับในแนวยาว	100 มม. ถึง 100 ม.
ความกว้างของชุดเลเซอร์	2.2 ม.
น้ำหนักของชุดเลเซอร์	25 กก. (โดยประมาณ)

ชุดอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดค่าดัชนีความขรุขระสากล จะมีชุดอุปกรณ์วัดระยะทางชนิดวัดระยะทางจากรอบล้อ โดยระยะทางจากอุปกรณ์นี้จะทำงานสัมพันธ์กันกับอุปกรณ์เซนเซอร์อื่น ๆ ที่ติดตั้งบนรถสำรวจ เพื่อกำหนดระยะทางในการบันทึกข้อมูลของเซนเซอร์ต่าง ๆ ทางที่ปรึกษาจะจัดชุดอุปกรณ์วัดระยะทางชนิดวัดระยะทางจากรอบล้อ โดยการวัดระยะทางจากอุปกรณ์นี้สามารถทำงานร่วมกันหรือสัมพันธ์กันกับอุปกรณ์เซนเซอร์อื่น ๆ ที่ติดตั้งบนรถสำรวจ เพื่อกำหนดระยะทางในการบันทึกข้อมูลของเซนเซอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- อุปกรณ์วัดระยะทาง (Distance Measurement Instrument : DMI) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ติดตั้งกับล้อรถสำรวจเพื่อตรวจวัดระยะทางสำรวจโดยใช้หลักการนับจำนวนรอบของพัลส์ (Pulse) ของล้อรถสำรวจ แสดงดังรูปที่ 3-9



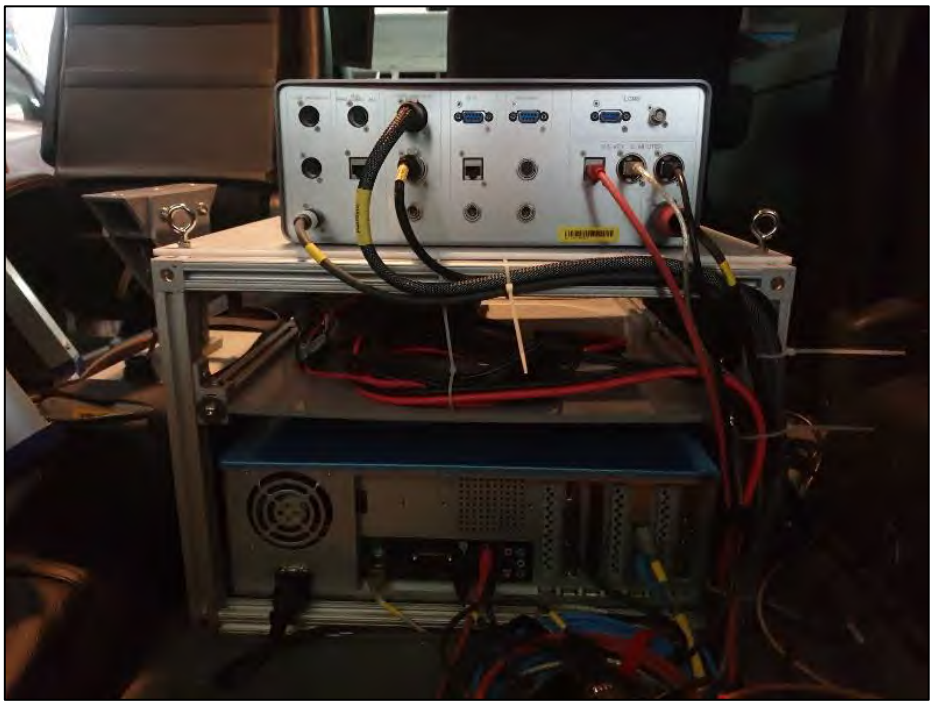


รูปที่ 3-9 รายละเอียดเครื่องวัดระยะทาง

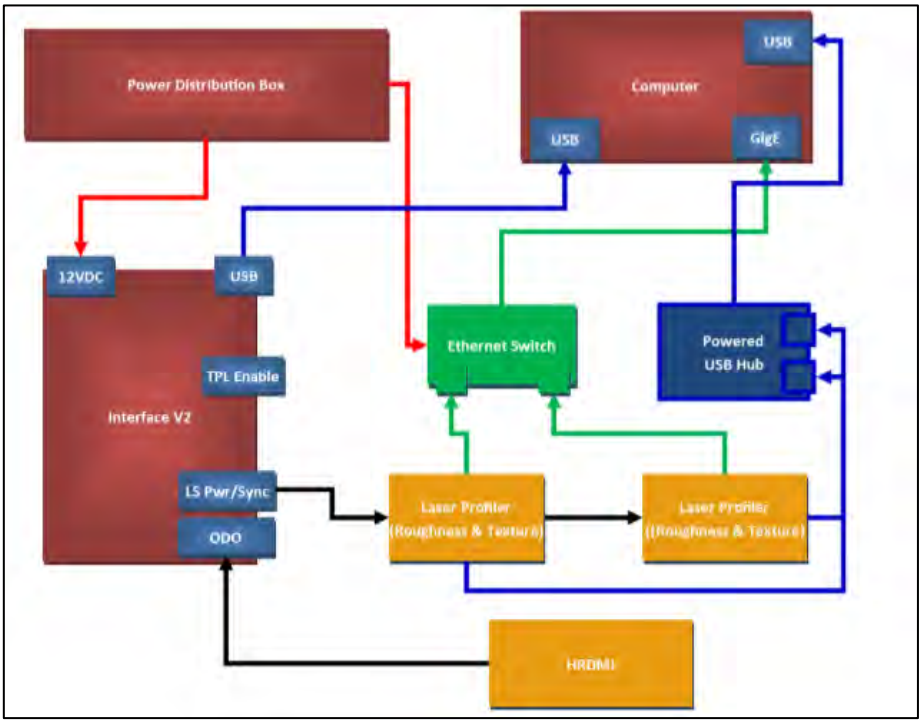
ตารางที่ 3-11 แสดงรายละเอียดเครื่องมือวัดระยะทาง

Item	Description
1	Encoder Mounted with Swivel and R
2	Encoder cable with plugs
3	Wheel plate
4	Wheel Nut Clamp
5	Shaft Collar Grub screw
6	Spaces for Wheel Nut Clamps
7	Wheel Rim Rod Mount

- อุปกรณ์รับสัญญาณ และระบบคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลสำรวจ (On board Computer) ติดตั้งในรถ ระบบคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งในรถสำรวจเพื่อบันทึกข้อมูลและประมวลผลเบื้องต้นบนรถสำรวจ แสดงดังรูปที่ 3-10 และรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-10 อุปกรณ์รับสัญญาณและชุดบันทึกข้อมูล



รูปที่ 3-11 แสดงการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ภายในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล

- การติดตั้งเครื่องมือ จะทำการติดตั้งเครื่องมือดังที่กล่าวมาข้างต้นเข้ากับรถสำรวจสภาพทาง (Road Condition Survey Vehicle : RCSV)



รูปที่ 3-12 ลักษณะของรถสำรวจที่ใช้ในการสำรวจ

3.1.2.2 ผลการสำรวจ

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการสำรวจด้วยเครื่องมือ Laser Profilometer รวมเป็นสายทาง สายทาง ระยะทาง กม. ตามข้อกำหนดใน TOR ที่ระบุไว้ 20 สายทาง 900 กิโลเมตร และได้ทำการประเมินผลข้อมูล โดยผลการสำรวจจากเครื่องมือ LCMS แสดงดังตารางที่ 3-4 ส่วนผลการสำรวจจากเครื่องมือ Pavement Camera แสดงดังตารางที่ 3-5

โดยที่ปรึกษาได้ดำเนินการสำรวจด้วยเครื่องมือ Laser Profilometer จำนวน 36 สายทาง ระยะทางรวม 1,027 กิโลเมตร โดยรายละเอียดของสายทางสำรวจแสดงดังตารางที่ 3-12 ซึ่งคลอบคลุมตาม TOR ที่ระบุไว้ที่ 20 สายทาง 900 กิโลเมตร และได้ทำการประเมินผลข้อมูล โดยผลการสำรวจจะอยู่ในรูปของกราฟ 100 เมตร แสดงดังรูปที่ 3-13 ถึง รูปที่ 3-53

ตารางที่ 3-12 สายทางสำรวจค่าความเรียบของผิวทาง (IRI)

No.	section_id	surface	route	control	dis_name	divi_name	name	km_start	km_end	ระยะทางฝั่งซ้าย	ระยะทางฝั่งขวา	ระยะทางรวม
1	5313	AC	3196	200	ขท.นครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	ปากคลองห้า - จันเสน	2+100	30+500	28.4		28.4
2	5464	AC	3196	301	ขท.ลพบุรีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	จันเสน - ท่าแค	30+500	63+800	33.3		33.3
3	1757	AC	3042	100	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	หนองยาว - พระพุทธฉาย	0+000	4+982	4.982		4.982
4	5444	AC	3224	102	ขท.สระบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	ท่าคล้อ - แสลงพัน	10+000	31+011	21.011		21.011
5	5712	conc	3211	100	ขท.ชัยนาท	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	ทางเข้าหันคา - กะบกเตี้ย	0+000	40+802	40.802	40.802	81.604
6	1382	conc	303	100	ขท.สมุทรปราการ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	ราษฎร์บูรณะ - พระสมุทรเจดีย์	6+463	21+732	15.269	15.269	30.538
7	1890	conc	306	102	ขท.นนทบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	แคราย - คลองบ้านใหม่	7+909	20+601	12.692	12.692	25.384
8	2034	conc	3344	100	ขท.สมุทรปราการ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	อุดมสุข - สมุทรปราการ	10+000	20+181	10.181		10.181
9	3968	conc	3119	102	ขท.กรุงเทพ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	แยกเคหะร่มเกล้า - ลาดกระบัง	5+309	11+003	5.694	5.694	11.388
10	5487	conc	3256	102	ขท.สมุทรปราการ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	บางพลี - กิ่งแก้ว	10+012	23+929	13.917	13.917	27.834

ตารางที่ 3-12 สายทางสำรวจค่าความเรียบของผิวทาง (IRI) (ต่อ)

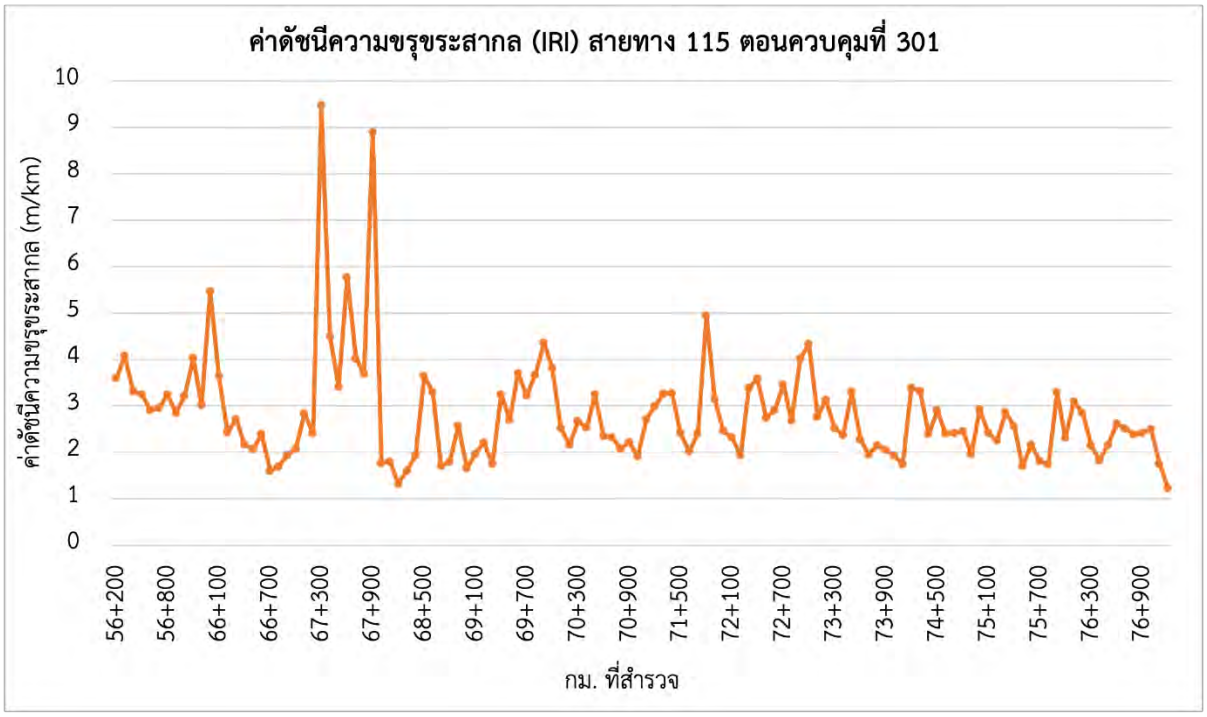
No.	section_id	surface	route	control	dis_name	divi_name	name	km_start	km_end	ระยะทางฝั่งซ้าย	ระยะทางฝั่งขวา	ระยะทางรวม
11	73	conc	3215	102	ขท.นนทบุรี	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	บางบัวทอง - ไทรน้อย	13+085	26+323	13.238		13.238
12	1711	conc	351	100	ขท.กรุงเทพ	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ - คันนายาว	0+000	12+328	12.328	12.328	24.656
13	5545	conc	315	200	ขท.ชลบุรีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	หัวไผ่ - ชลบุรี	25+163	44+551	17.12		17.12
14	5545	AC	315	200	ขท.ชลบุรีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	หัวไผ่ - ชลบุรี	25+163	44+551	2.268		2.268
15	2606	AC	4003	100	ขท.ชุมพร	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	สวี - บ่อคา	2+875	15+282	12.407		12.407
16	2514	conc	401	302	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	กิโลศูนย์ - หนองบัว	145+542	152+479	6.937		6.937
17	2328	AC	4246	100	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 3 (เวียงสระ)	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	เขาวง - หน้าเขา	0+000	30+420	30.42		30.42
18	308	AC	4219	100	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 3 (เวียงสระ)	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	ปลายหลิก - ทับใหม่	0+000	22+150	22.15		22.15
19	10622	AC	4009	101	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 2 (กาญจนดิษฐ์)	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	บางใหญ่ - ชอยสิบ	3+450	18+000	14.55	14.55	29.1
20	3983	AC	4030	100	ขท.ภูเก็ต	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	ถลาง - หาดราไวย์	22+990	28+290	5.3		5.3

ตารางที่ 3-12 สายทางสำรวจค่าความเรียบของผิวทาง (IRI) (ต่อ)

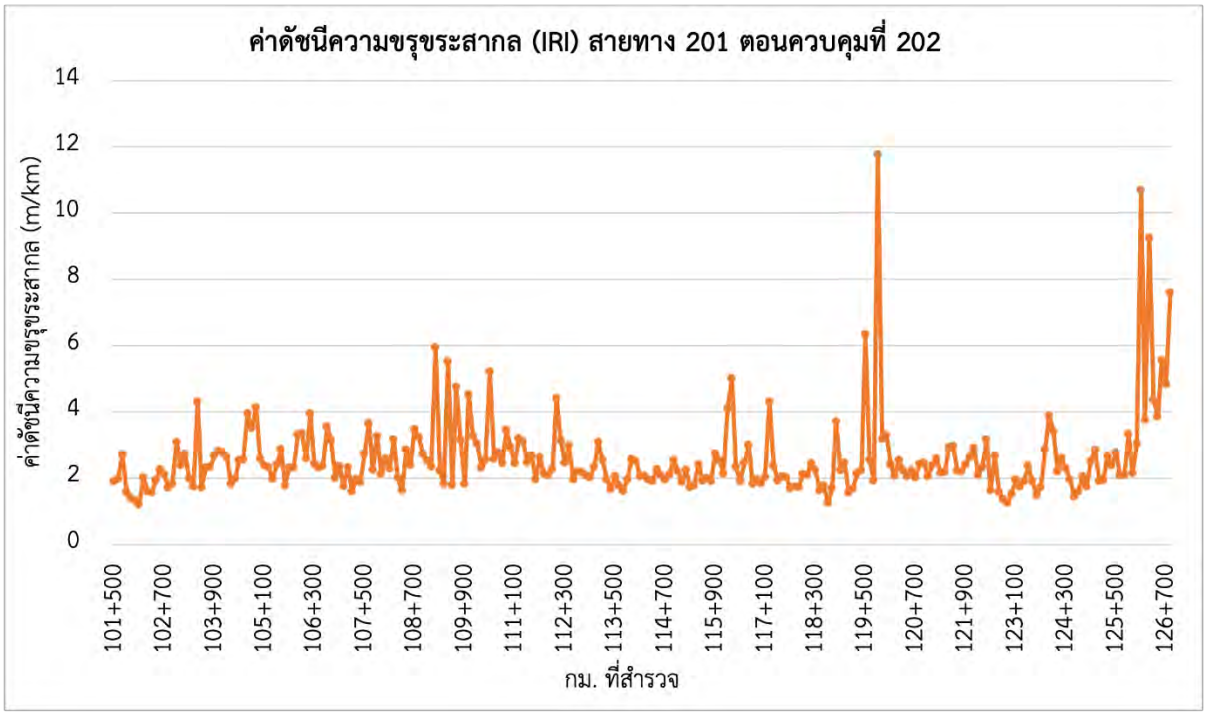
No.	section_id	surface	route	control	dis_name	divi_name	name	km_start	km_end	ระยะทางฝั่งซ้าย	ระยะทางฝั่งขวา	ระยะทางรวม
21	3984	AC	4030	100	ขท.ภูเก็ต	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	ถลาง - หาดราไวย์	0+000	22+390	22.39		22.39
22	2296	AC	4009	300	ขท.พังงา	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	บางหล่อ - อ่าวลึก	119+437	150+887	31.45		31.45
23	1247	AC	4029	100	ขท.ภูเก็ต	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	กะทู้ - ป่าตอง	0+000	3+236	3.236		3.236
24	950	AC	4311	100	ขท.พังงา	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	พังงา - ทับปุด	0+560	21+690	21.13	21.13	42.26
25	1513	AC	4091	102	ขท.ระนอง	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	เขาค่าย - เขาปีบ	56+173	70+358	14.185		14.185
26	1961	AC	4091	101	ขท.ระนอง	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	บางสีกิ้ม - เขาค่าย	0+000	56+173	56.173		56.173
27	1347	conc	419	100	ขท.ตรัง	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	ถนนวงแหวนรอบเมืองตรัง	0+000	31+255	31.255		31.255
28	694	AC	4045	100	ขท.ตรัง	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	บางรัก - ควนขัน	0+000	5+294	5.294		5.294
29	2436	AC	4023	100	ขท.ภูเก็ต	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	เมืองภูเก็ต - แหลมพันวา	0+000	8+770	8.77		8.77
30	11148	AC	406	102	ขท.สตูล	สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	ค่ายรวมมิตร - คลองขุด	54+775	89+115	34.34		34.34

ตารางที่ 3-12 สายทางสำรวจค่าความเรียบของผิวทาง (IRI) (ต่อ)

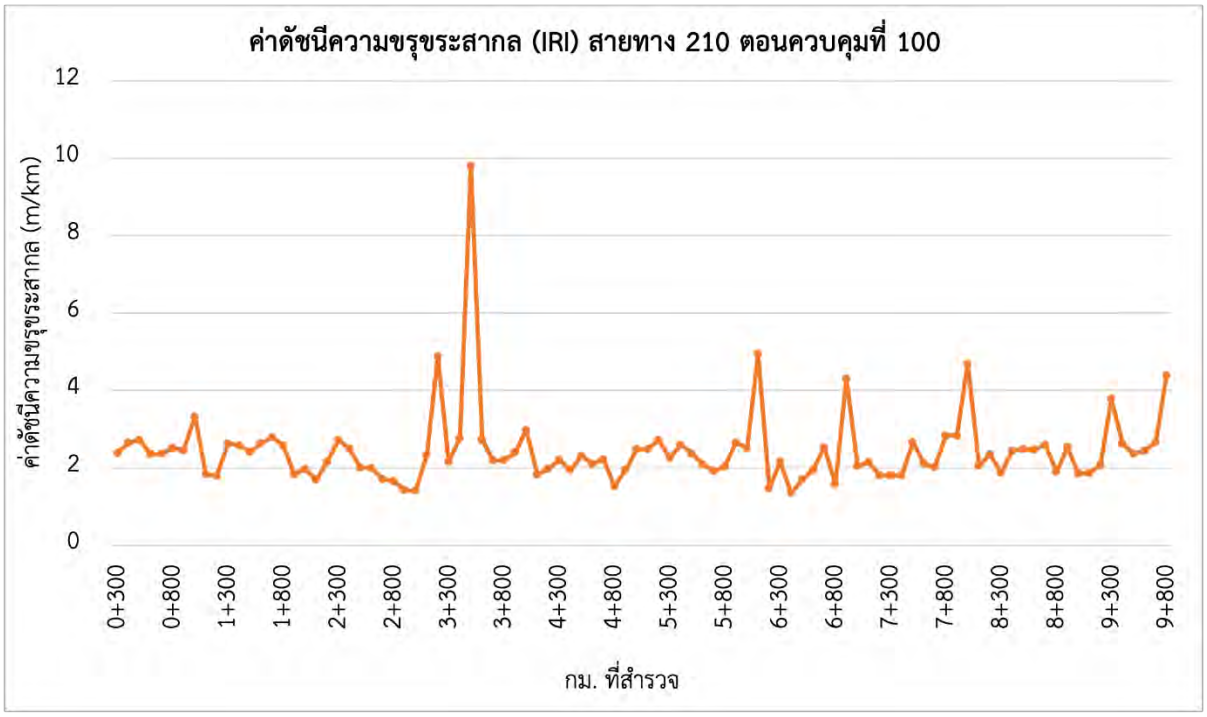
No.	section_id	surface	route	control	dis_name	divi_name	name	km_start	km_end	ระยะทางฝั่งซ้าย	ระยะทางฝั่งขวา	ระยะทางรวม
31	805	conc	408	203	ขท.สงขลาที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	เกาะยอ - ทุ่งหวัง	165+583	182+261	16.678	16.678	33.356
32	2475	AC	4184	100	ขท.สตูล	สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	ควนสตอ - ด่านชายแดนวังประจัน (เขตแดนไทย/มาเลเซีย)	0+000	21+850	21.85		21.85
33	3564	AC	1033	100	ขท.ลำพูน	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	แม่ทา - ท่าจักร	0+000	33+237	33.237		33.237
34	10960	AC	1020	100	ขท.เชียงรายที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	เชียงราย - โป่งเกลือ	0+000	27+849	27.849		27.849
35	3489	AC	1150	200	ขท.เชียงรายที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	ขุนแจ๋ - เวียงป่าเป้า	53+000	82+043	29.043		29.043
36	10432	AC	1098	102	ขท.เชียงรายที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	ท่าข้าวเปลือก - แก่นใต้	10+780	54+963	44.183		44.183
37	4335	AC	1174	102	ขท.เชียงรายที่ 2	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	แม่ต๋ำน้อย - ทุ่งงิ้ว	43+504	84+182	40.678		40.678
38	5013	AC	115	301	ขท.พิจิตร	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	บึงบัว - คลองโนน	56+215	80+000	23.785		23.785
39	4192	conc	210	201	ขท.หนองบัวลำภู	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	นิคมเขียงพิณ - หนองบัวลำภู	9+848	44+418	34.57	34.57	69.14
40	2095	conc	216	101	ขท.อุดรธานีที่ 1	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	ถนนวงแหวนรอบเมืองอุดรธานี ด้านทิศใต้	0+000	8+398	8.398		8.398
41	10521	AC	201	202	ขท.ชัยภูมิ	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	บ้านลี่ - สี่แยกโรงต้ม	101+564	126+617	25.053		25.053
รวม							**36 สายทาง**			**1,027 กิโลเมตร**		



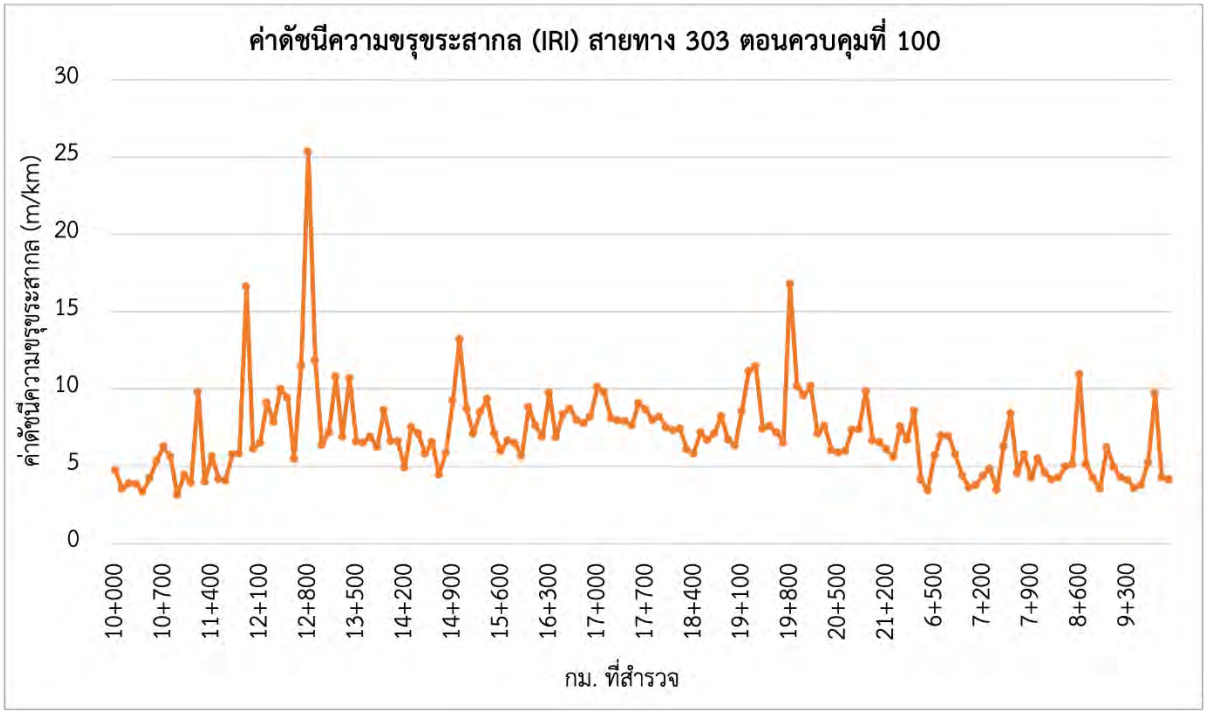
รูปที่ 3-13 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



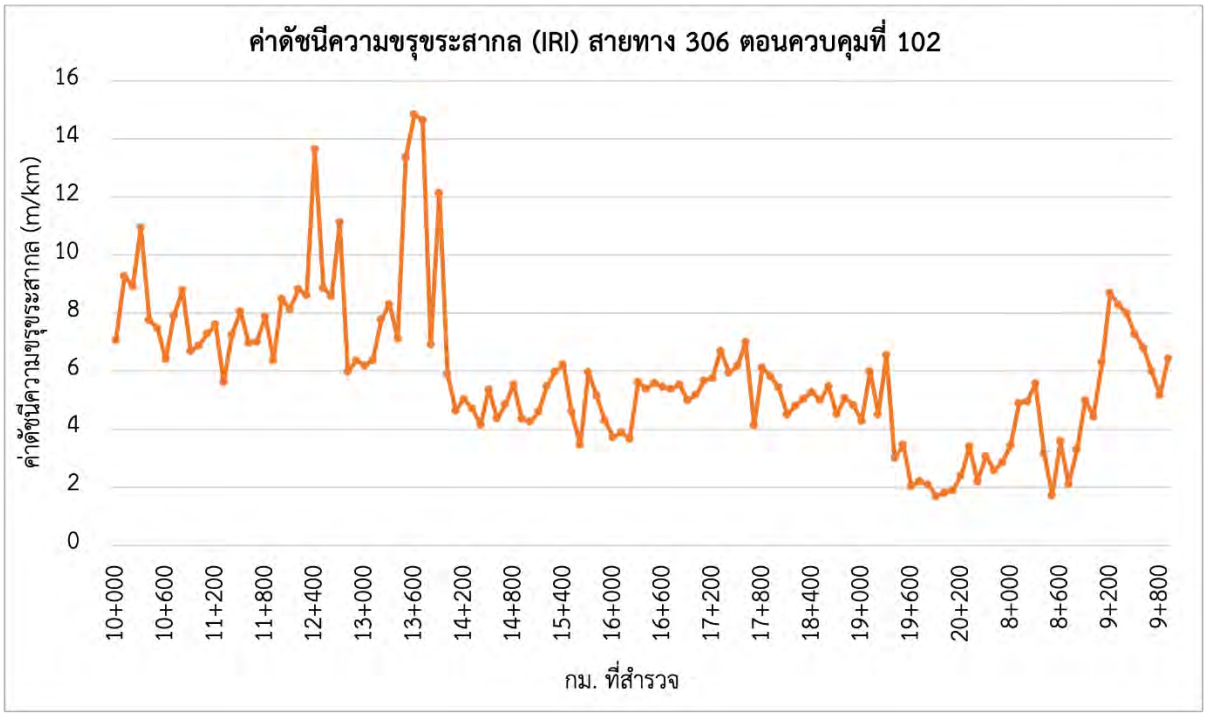
รูปที่ 3-14 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



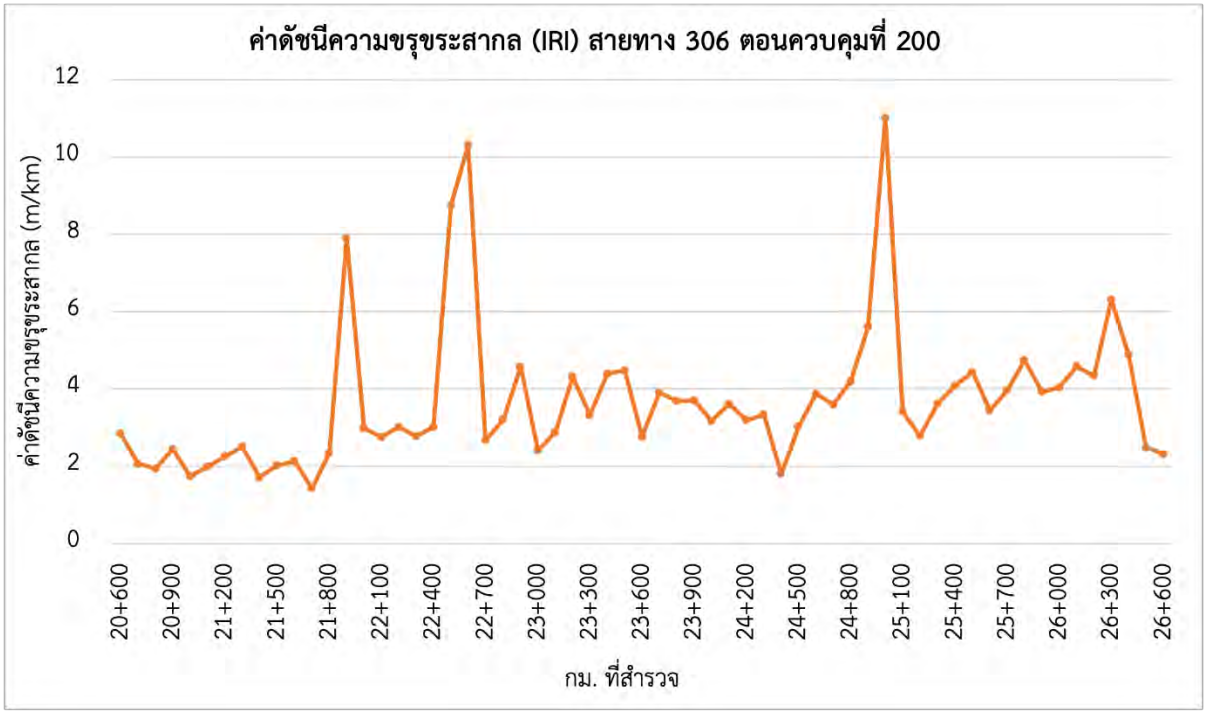
รูปที่ 3-15 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



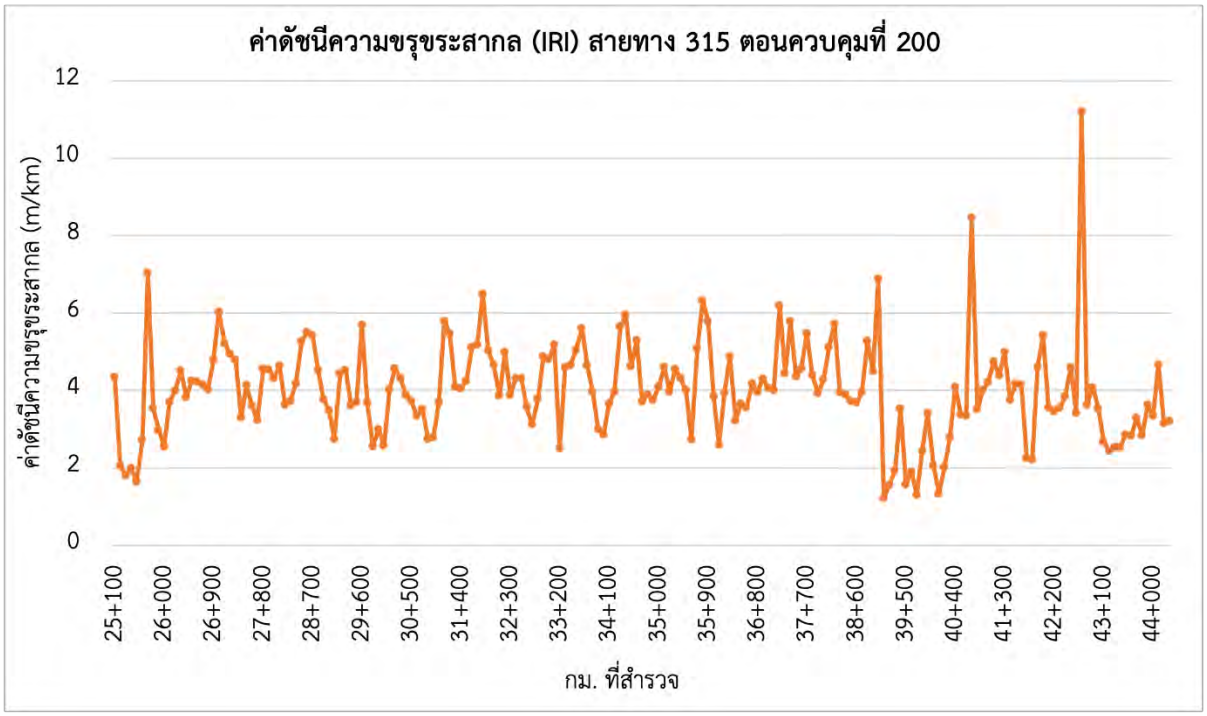
รูปที่ 3-16 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



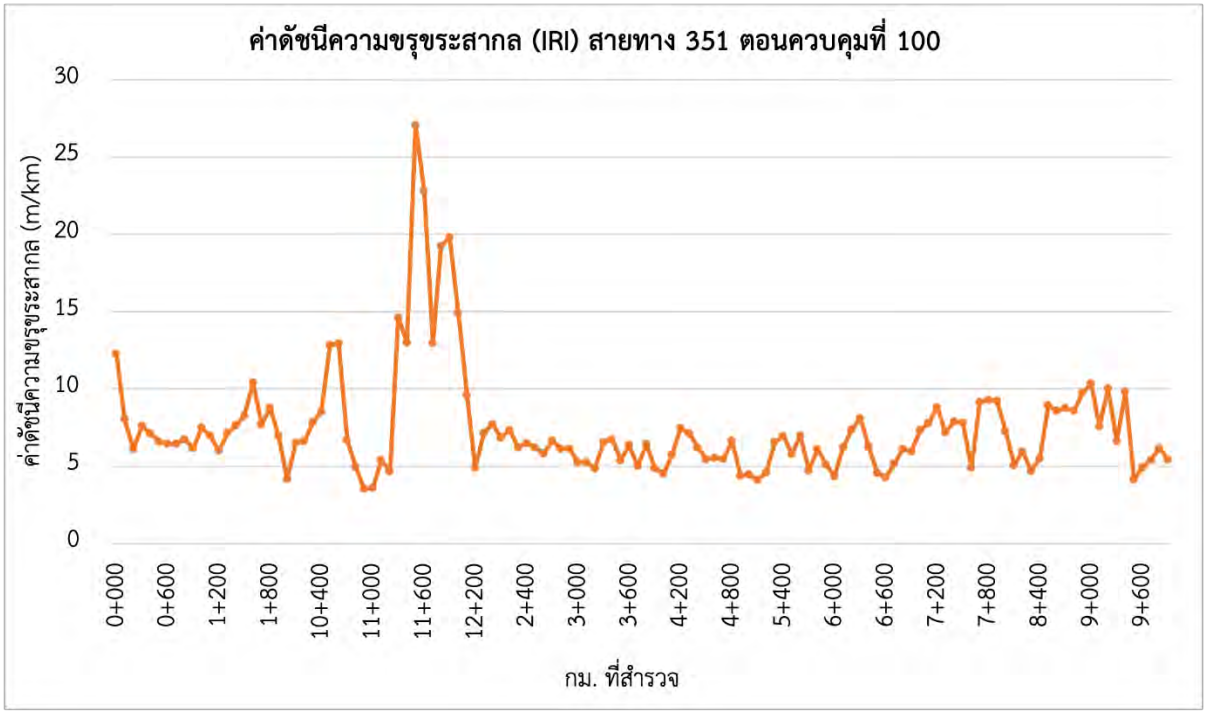
รูปที่ 3-17 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



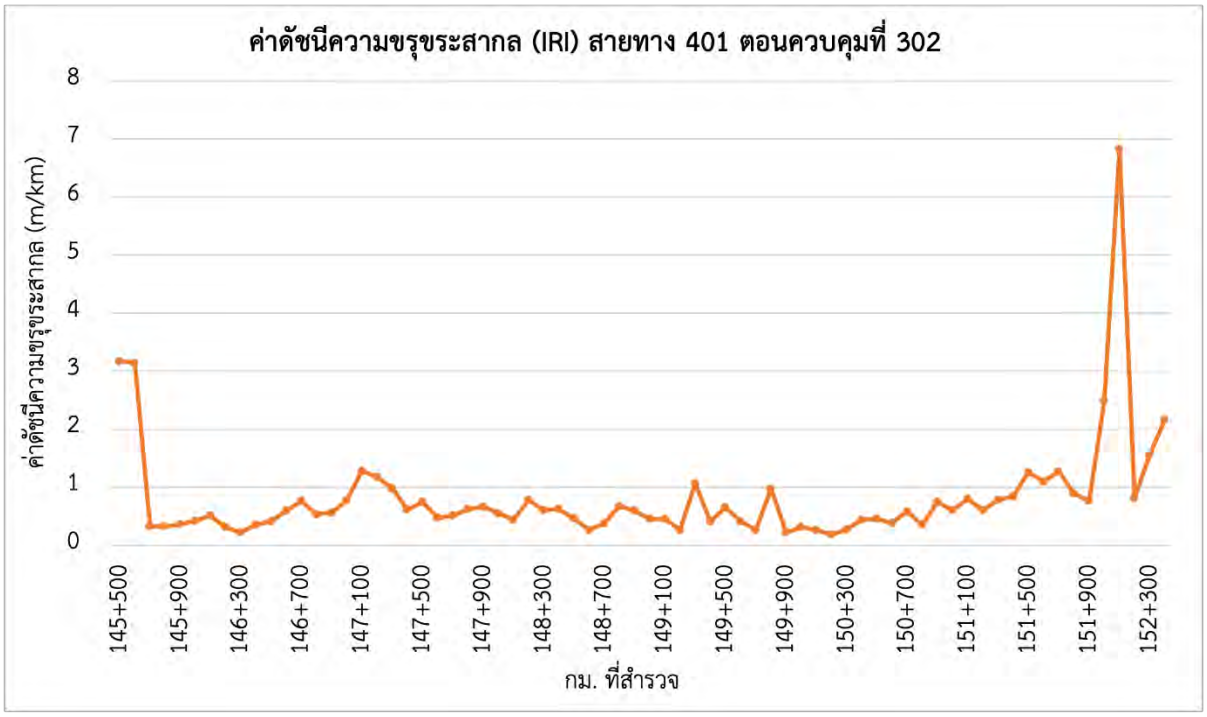
รูปที่ 3-18 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



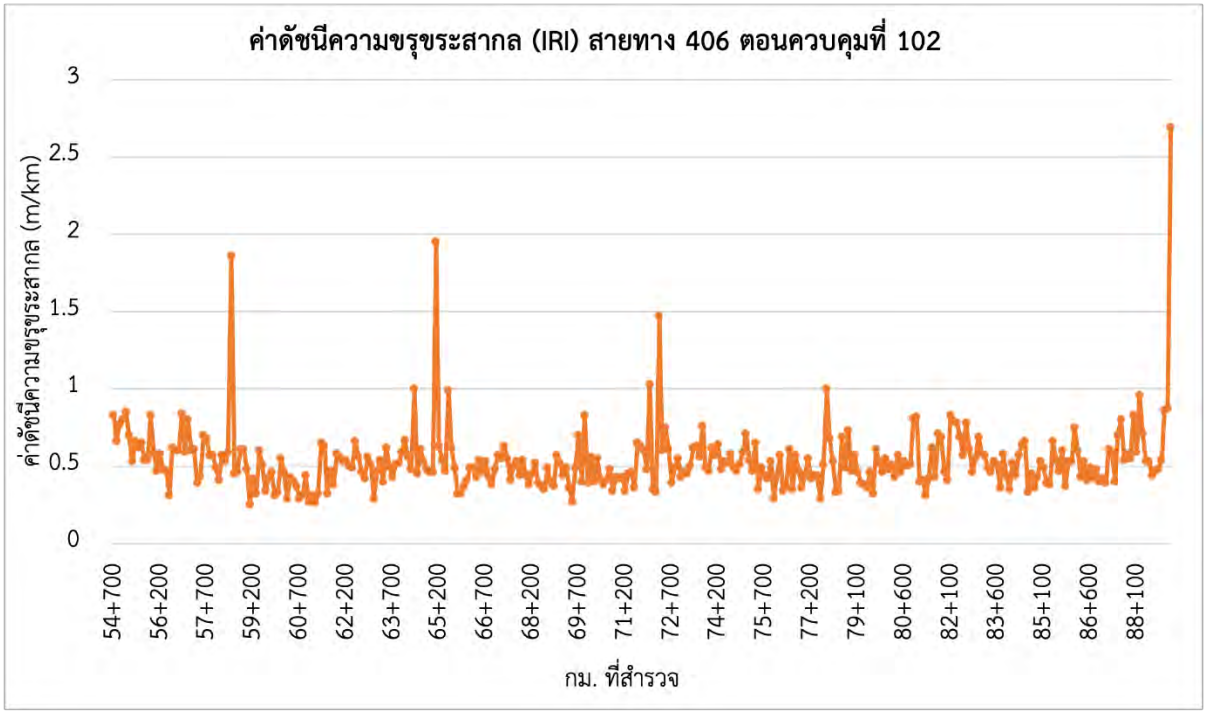
รูปที่ 3-19 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



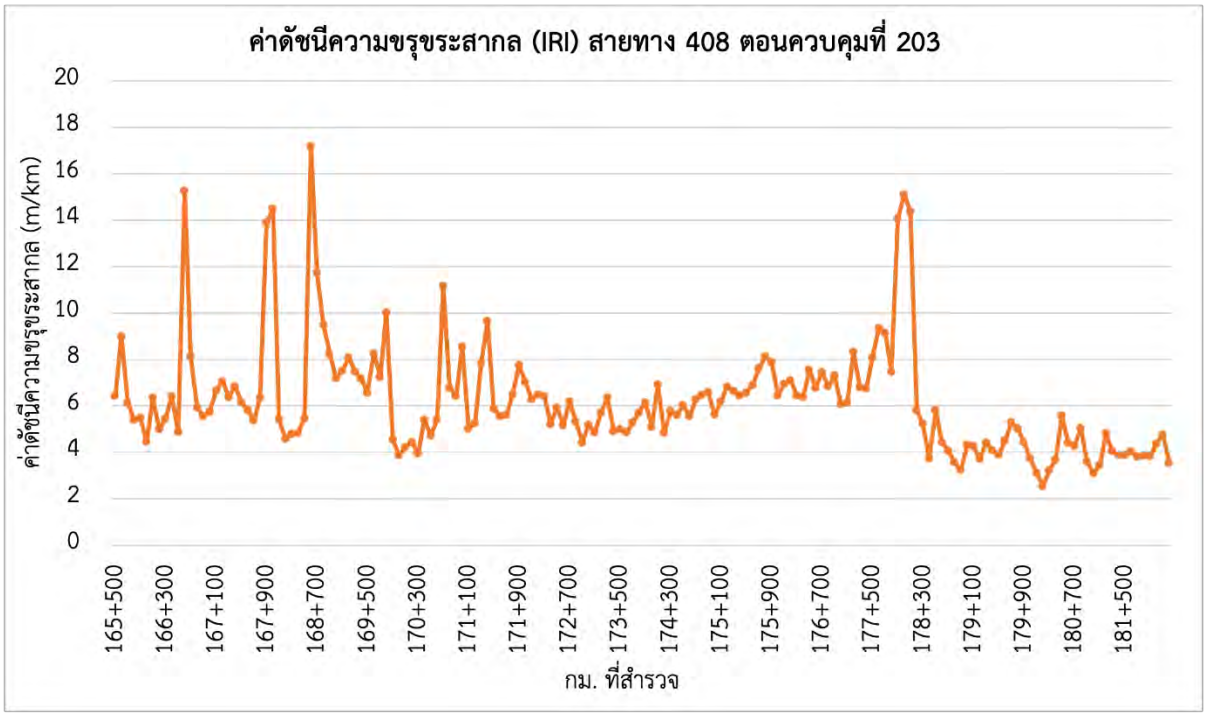
รูปที่ 3-20 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



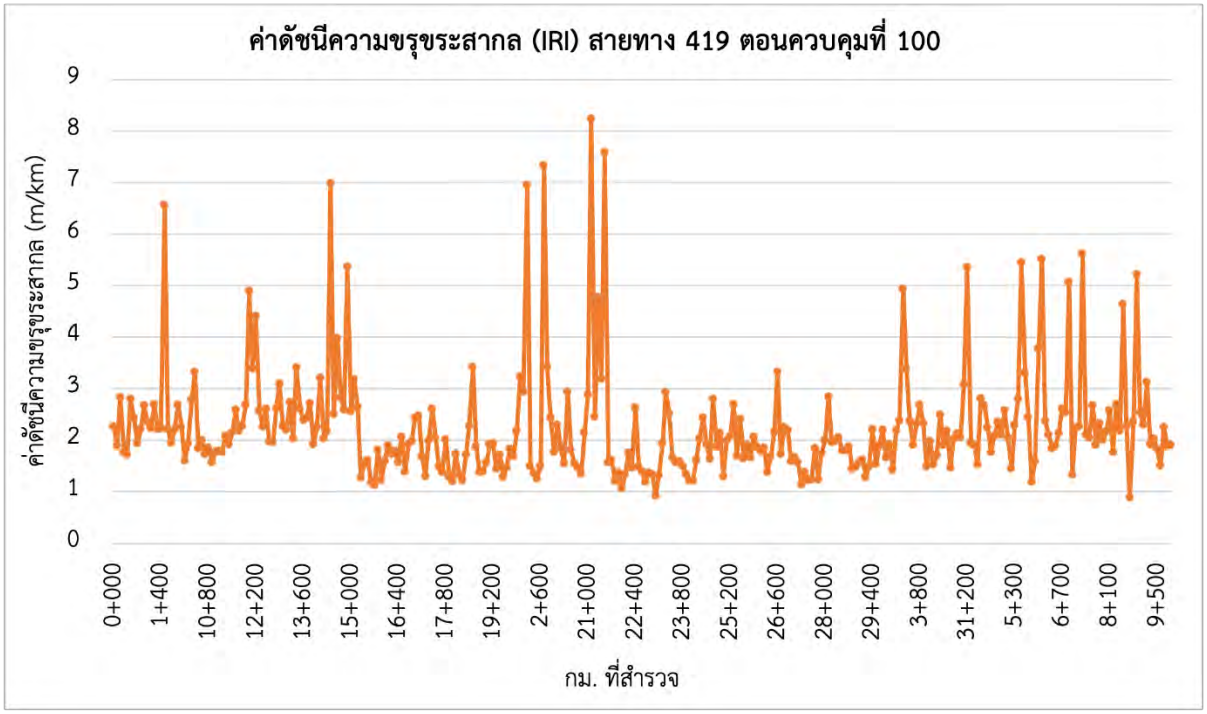
รูปที่ 3-21 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



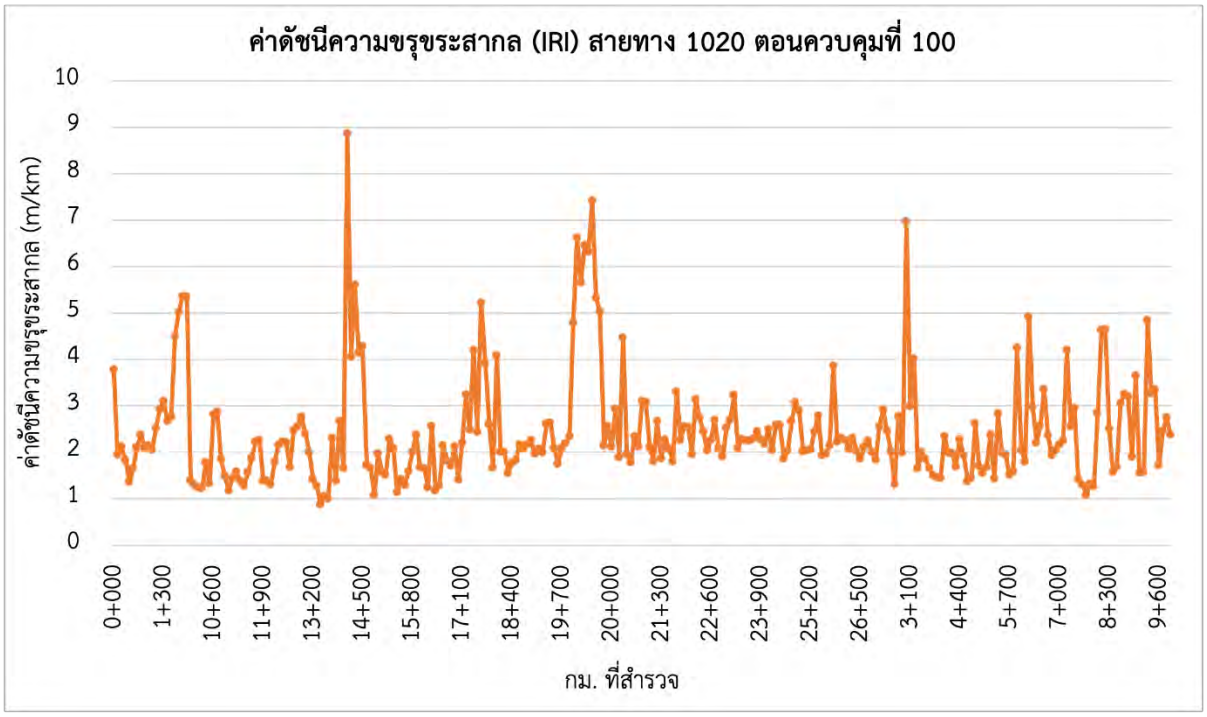
รูปที่ 3-22 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



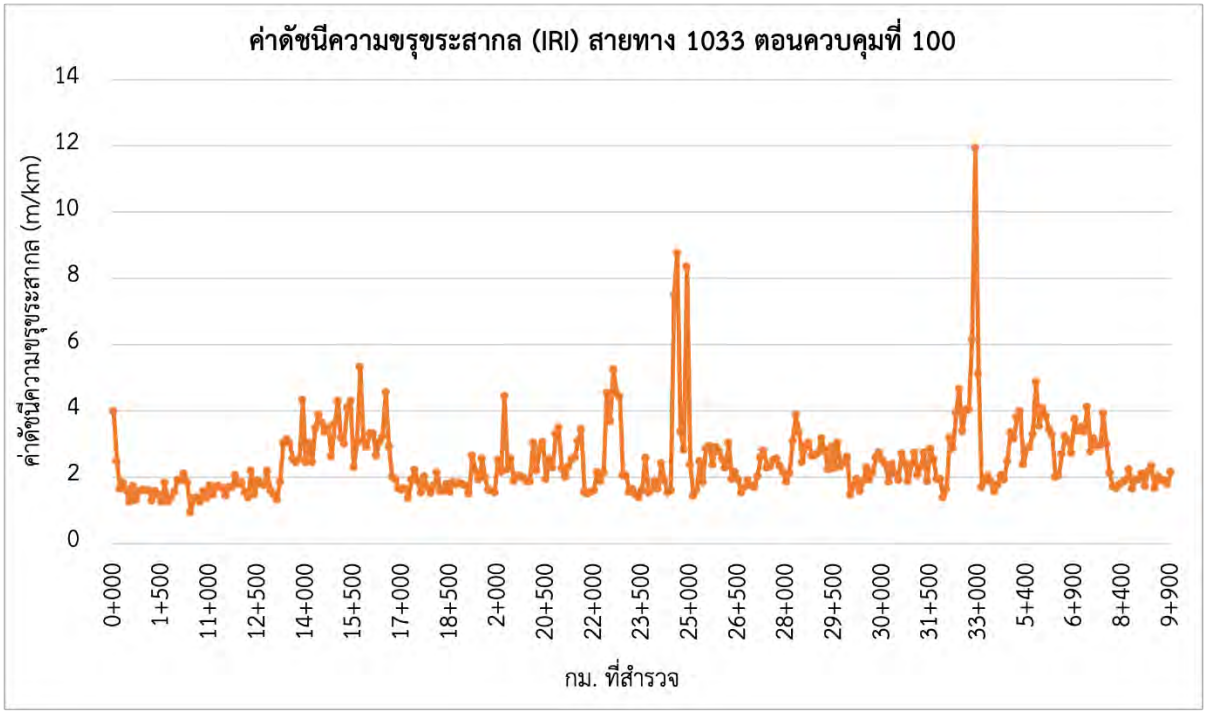
รูปที่ 3-23 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



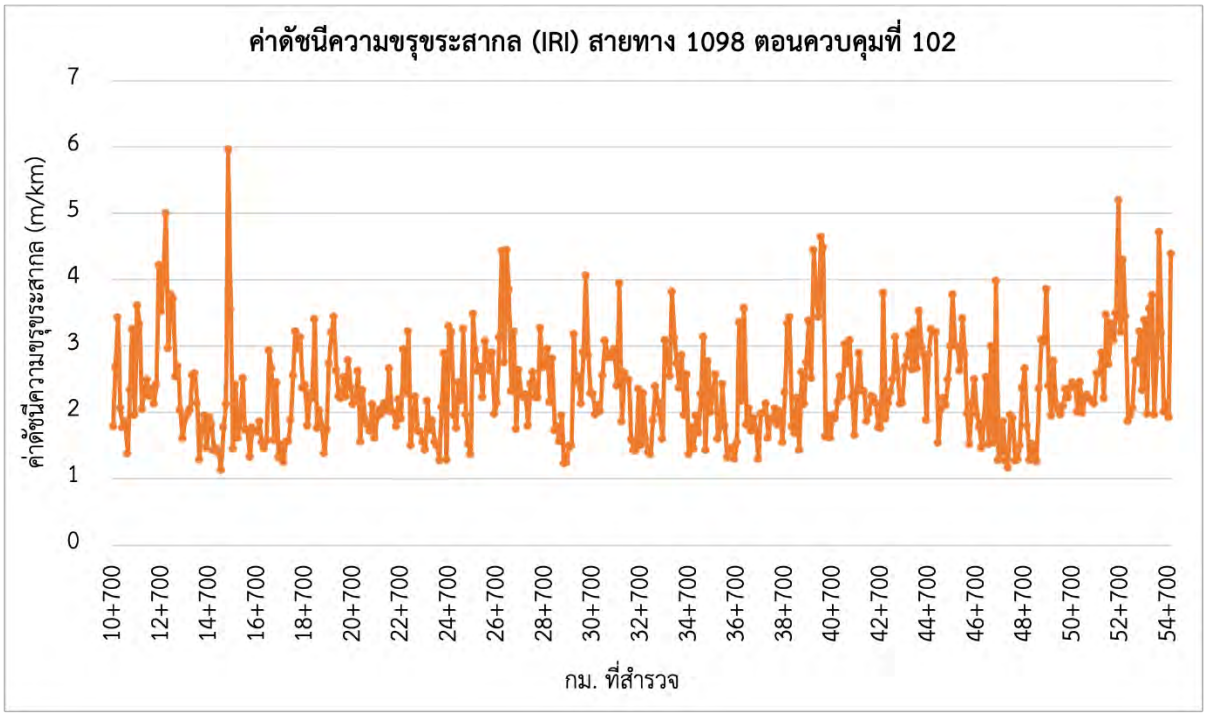
รูปที่ 3-24 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



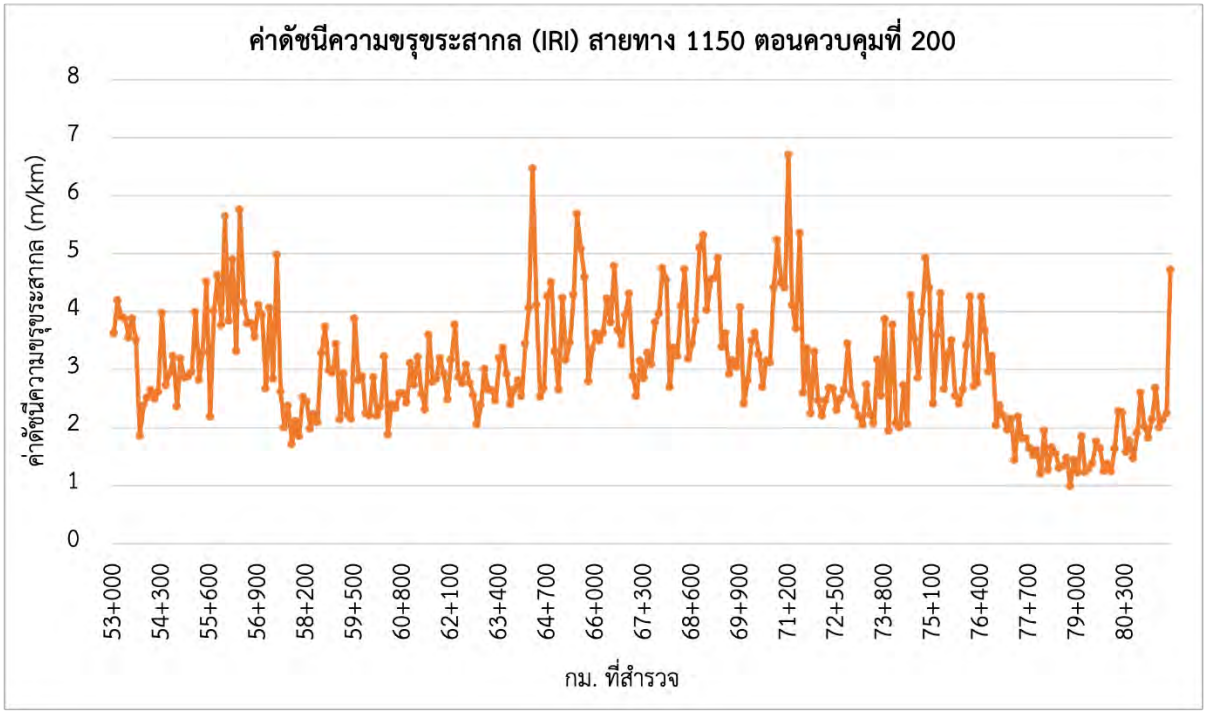
รูปที่ 3-25 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



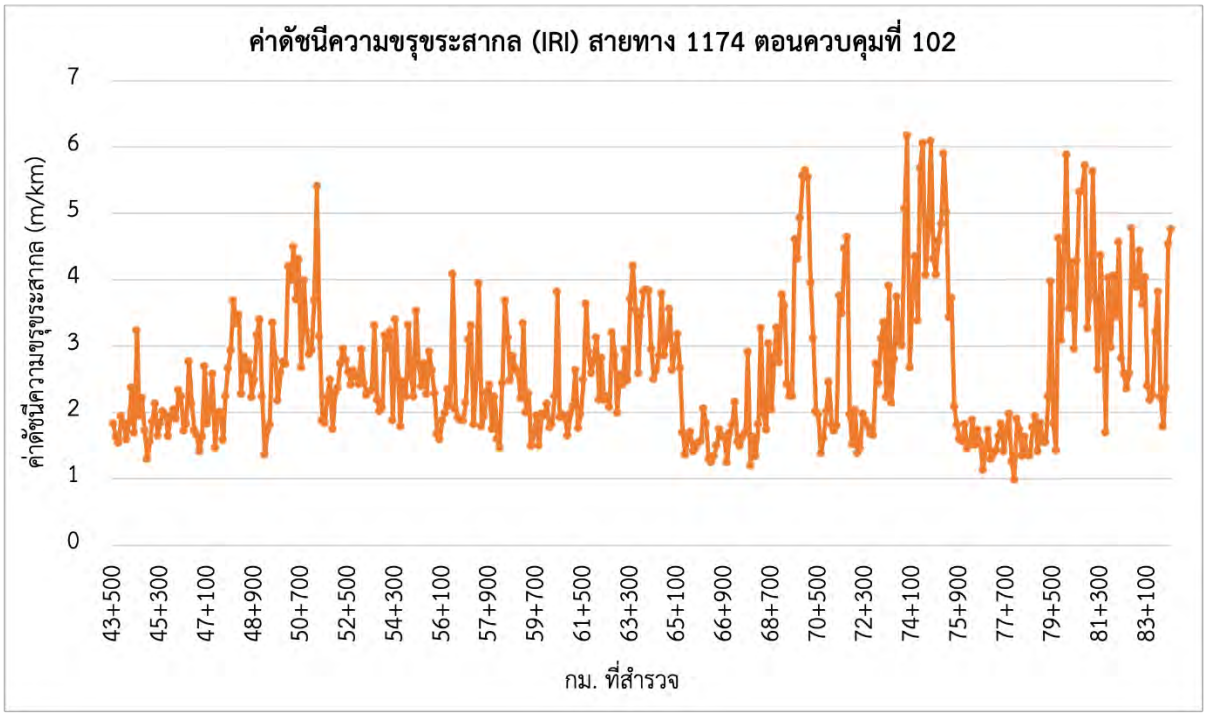
รูปที่ 3-26 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



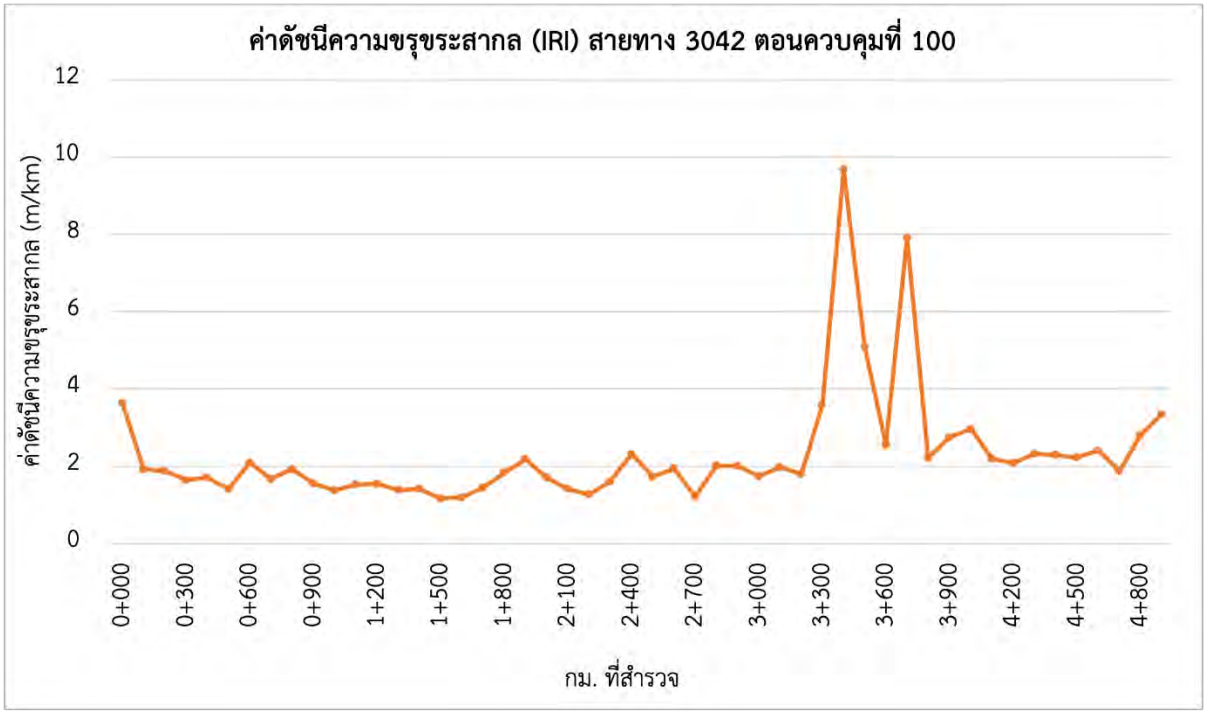
รูปที่ 3-27 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



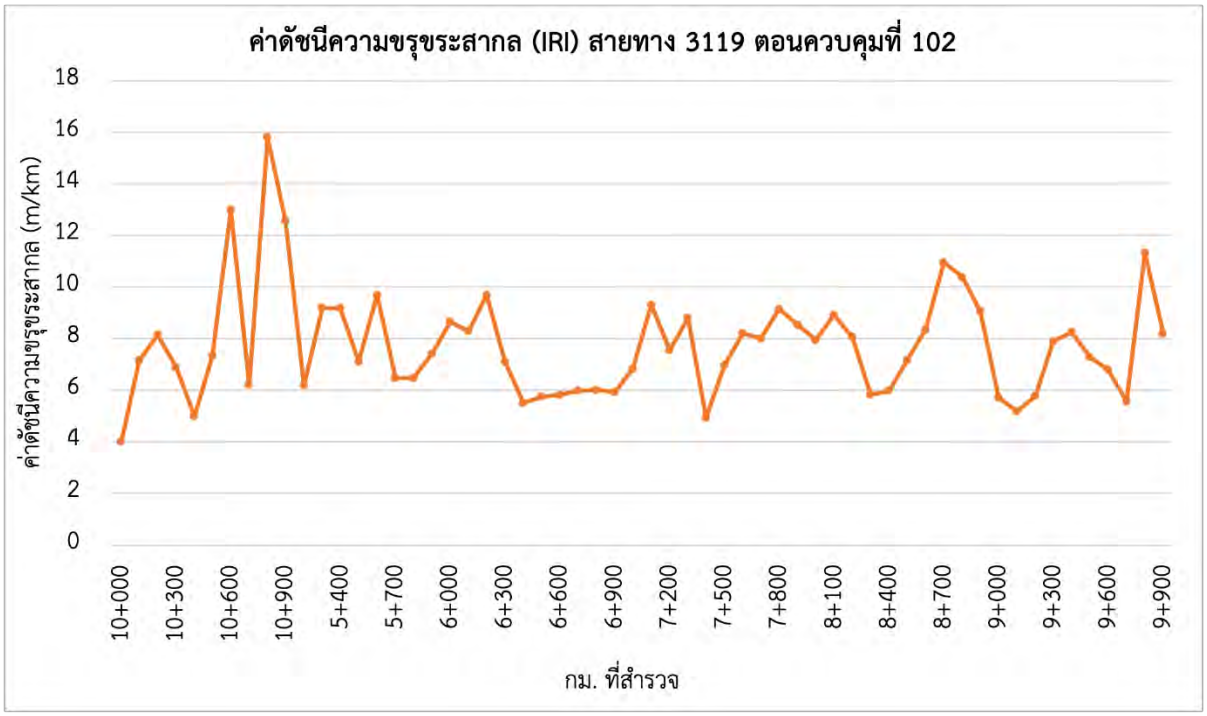
รูปที่ 3-28 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



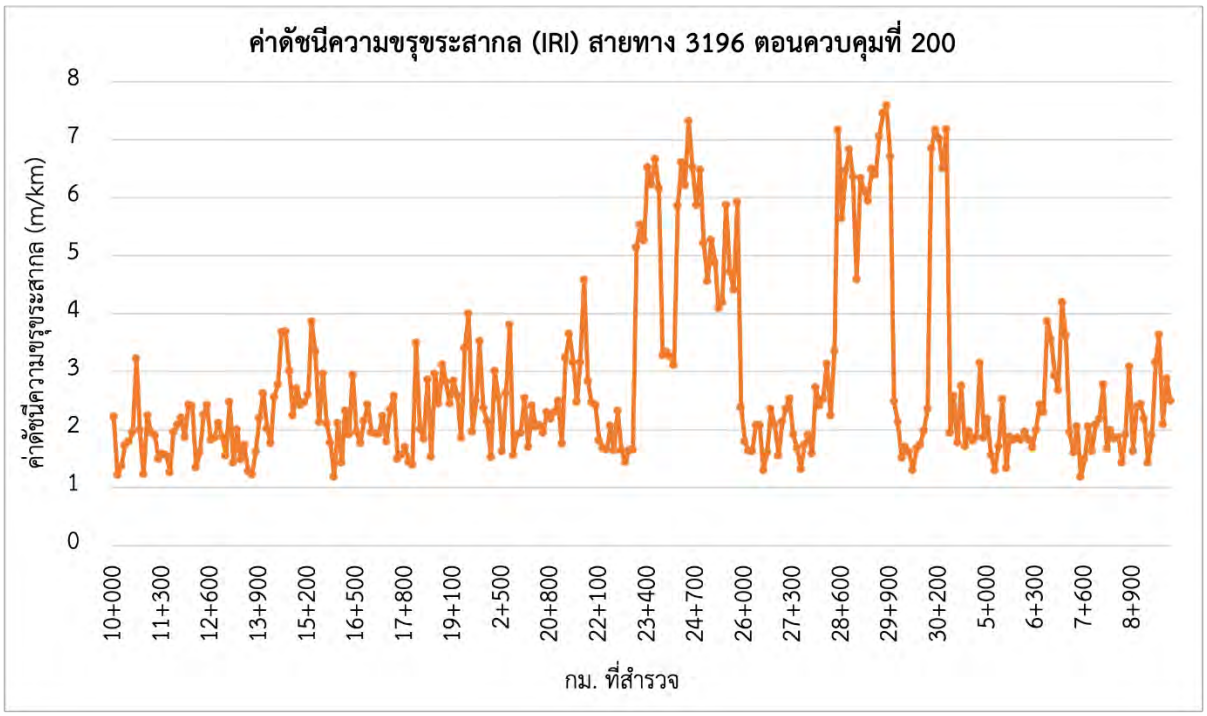
รูปที่ 3-29 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



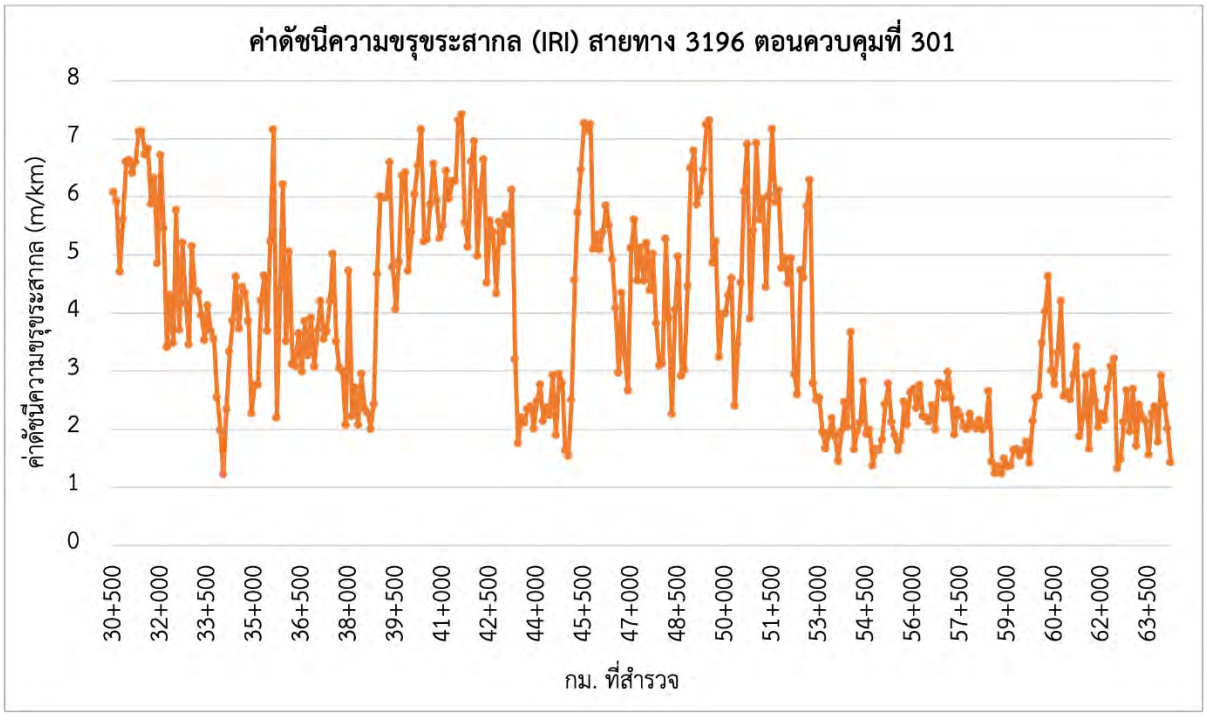
รูปที่ 3-30 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



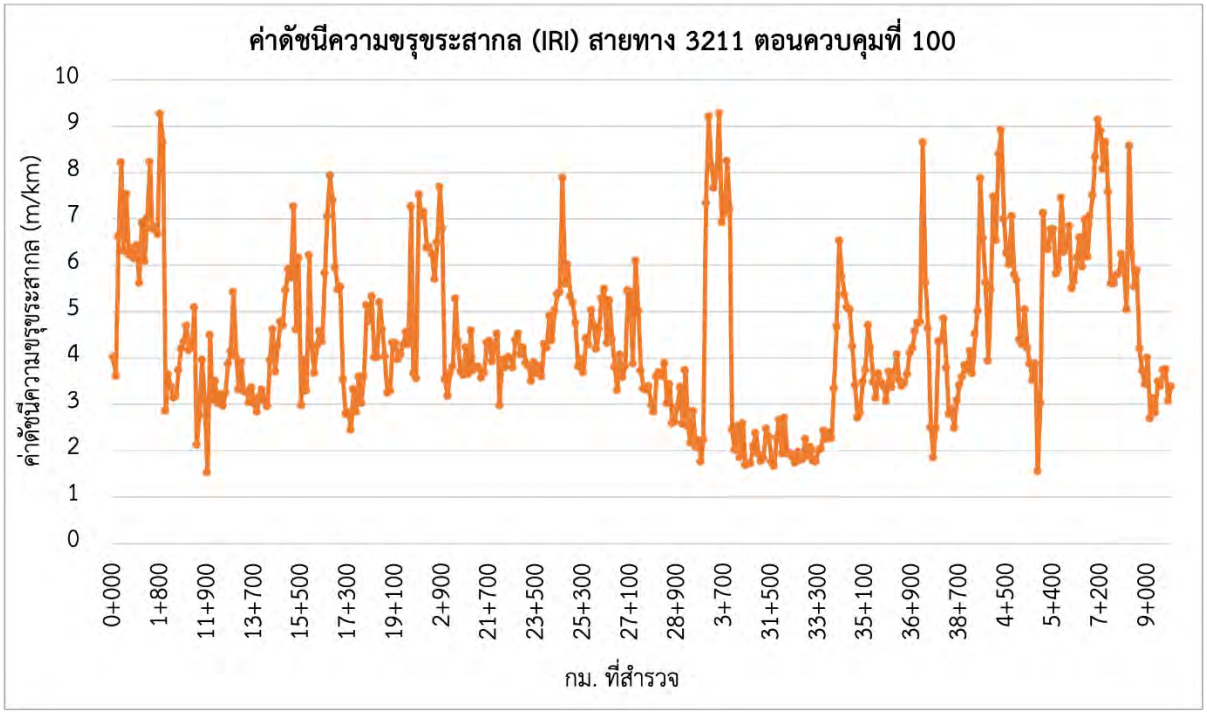
รูปที่ 3-31 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



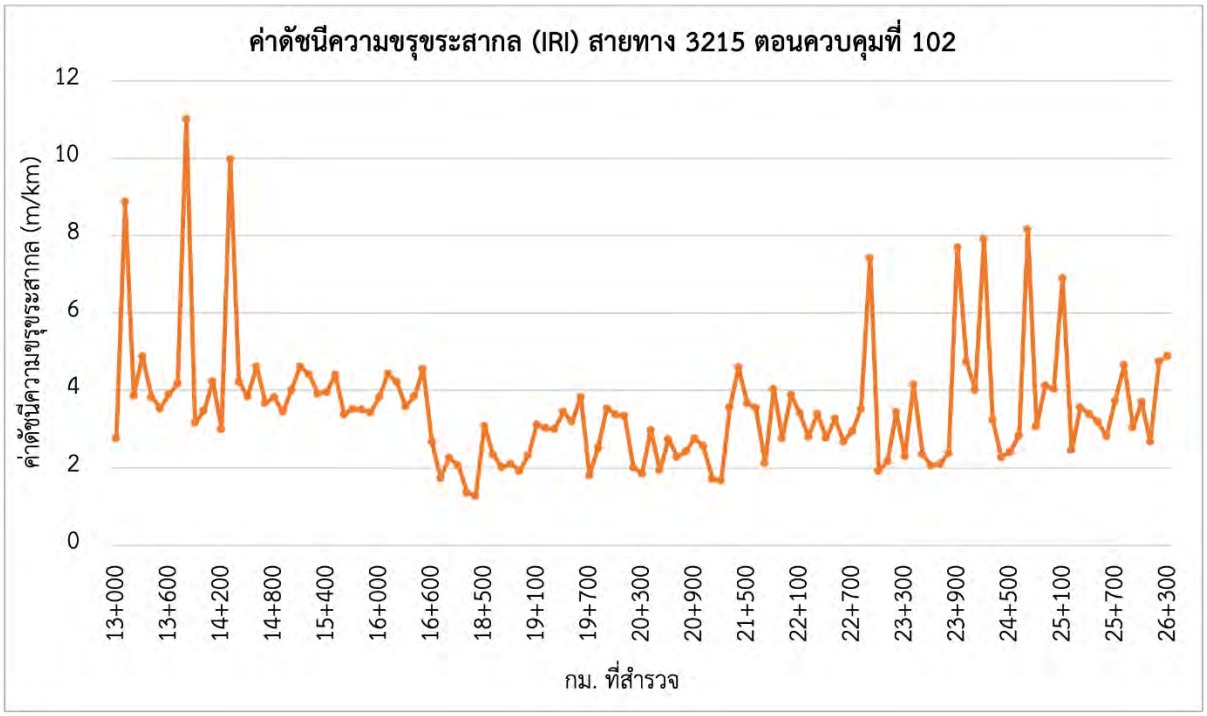
รูปที่ 3-32 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



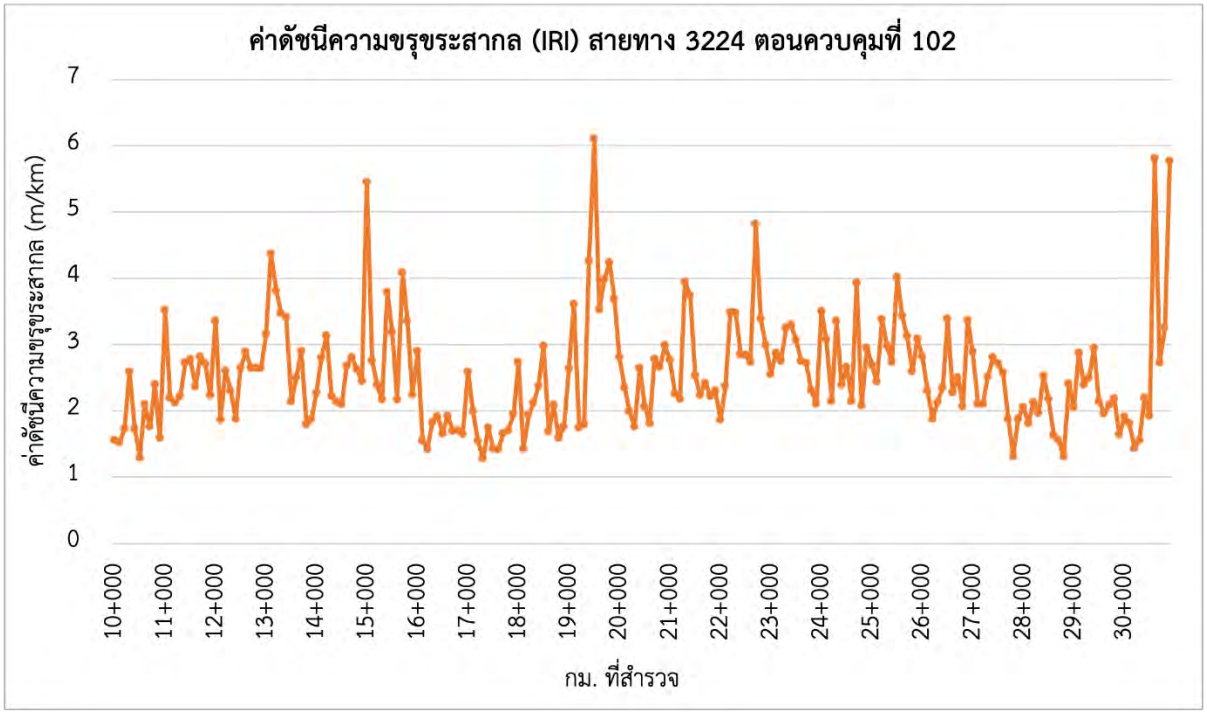
รูปที่ 3-33 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



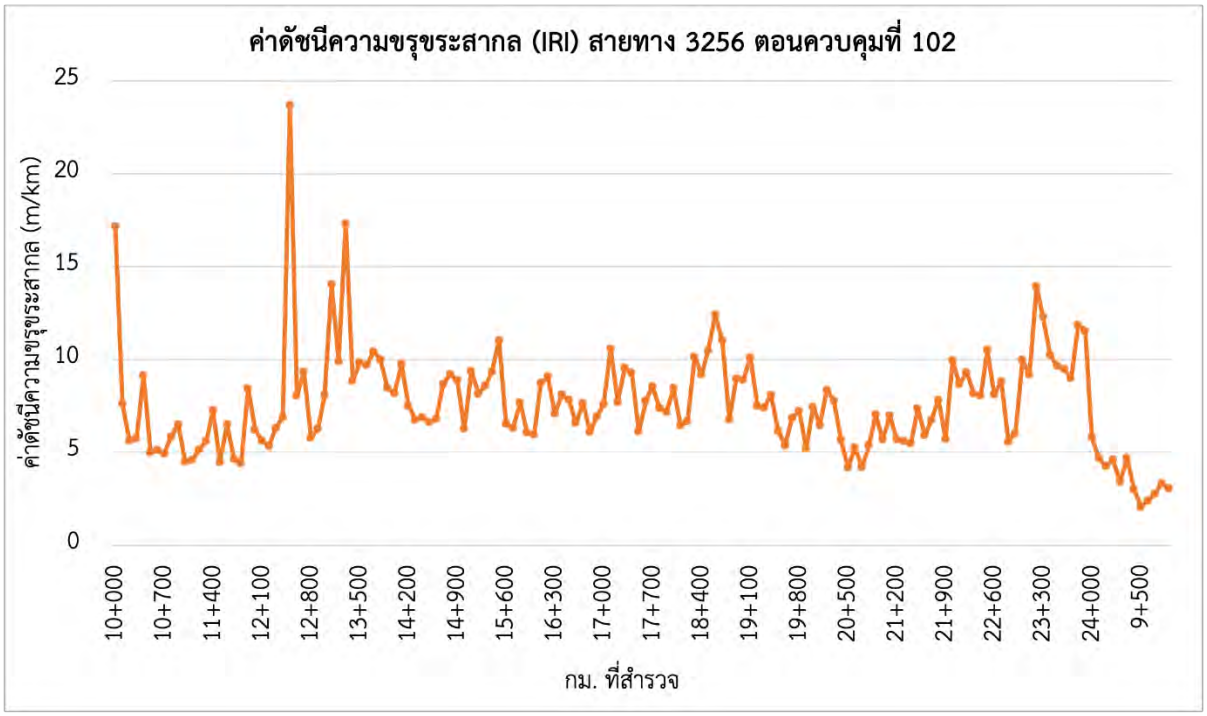
รูปที่ 3-34 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



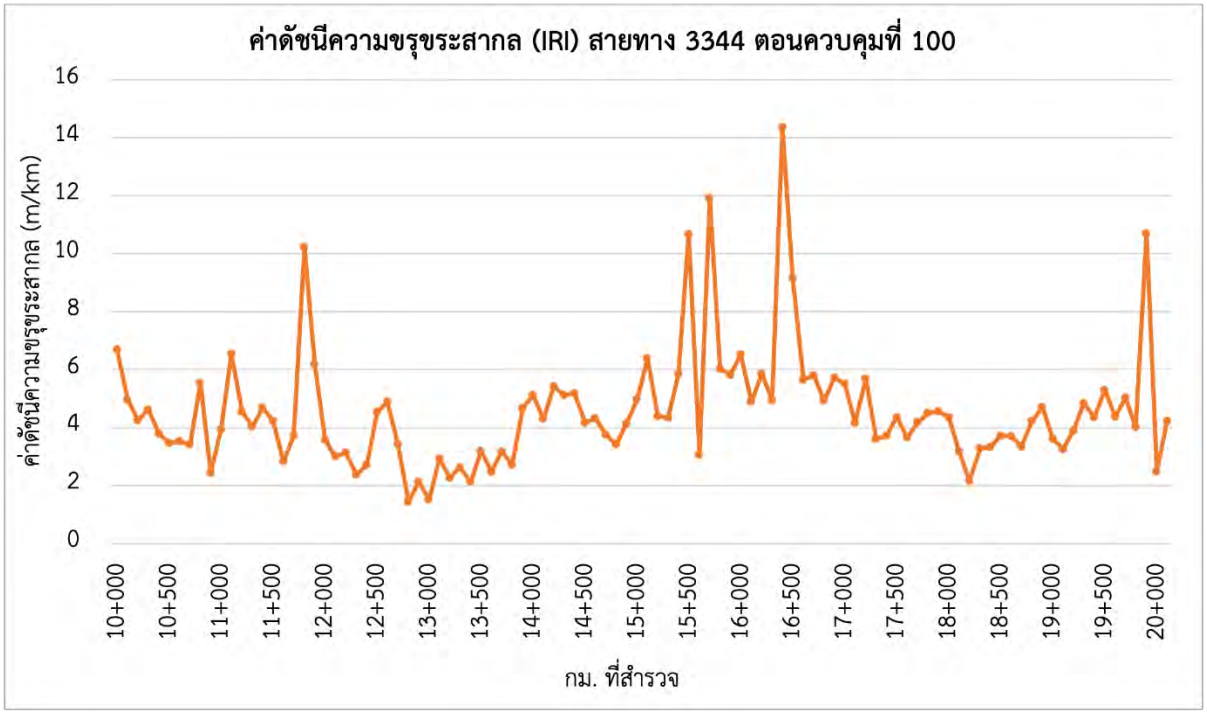
รูปที่ 3-35 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



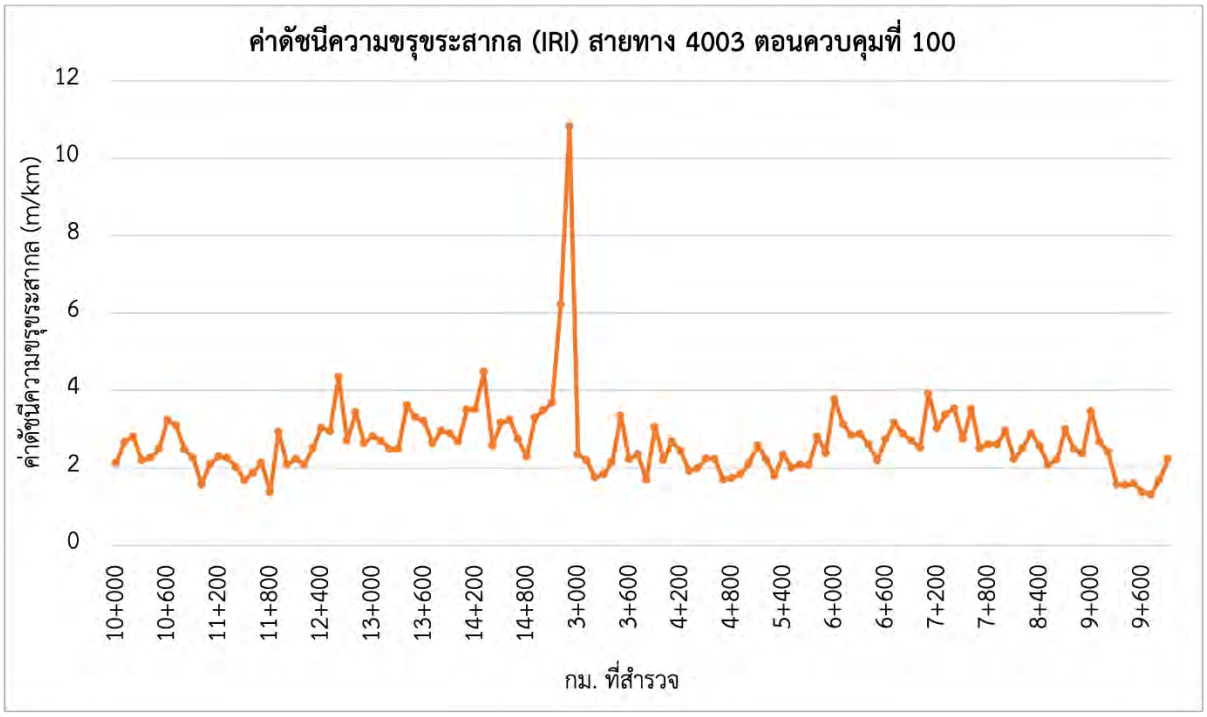
รูปที่ 3-36 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



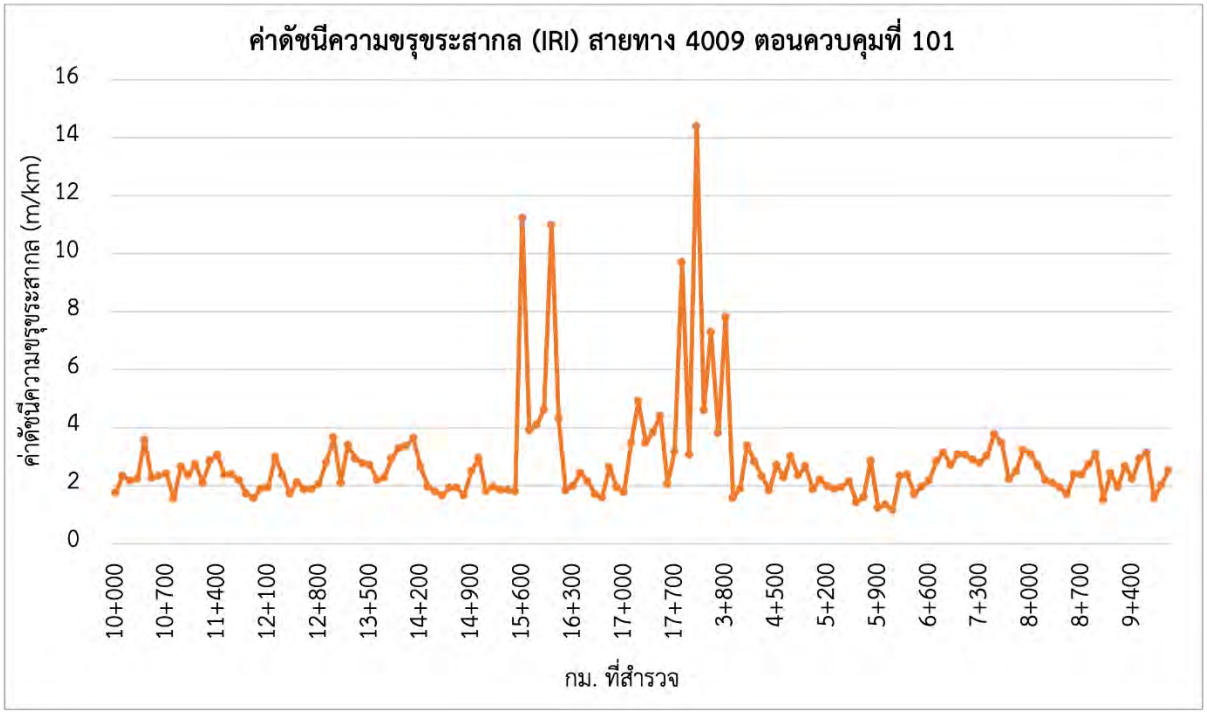
รูปที่ 3-37 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



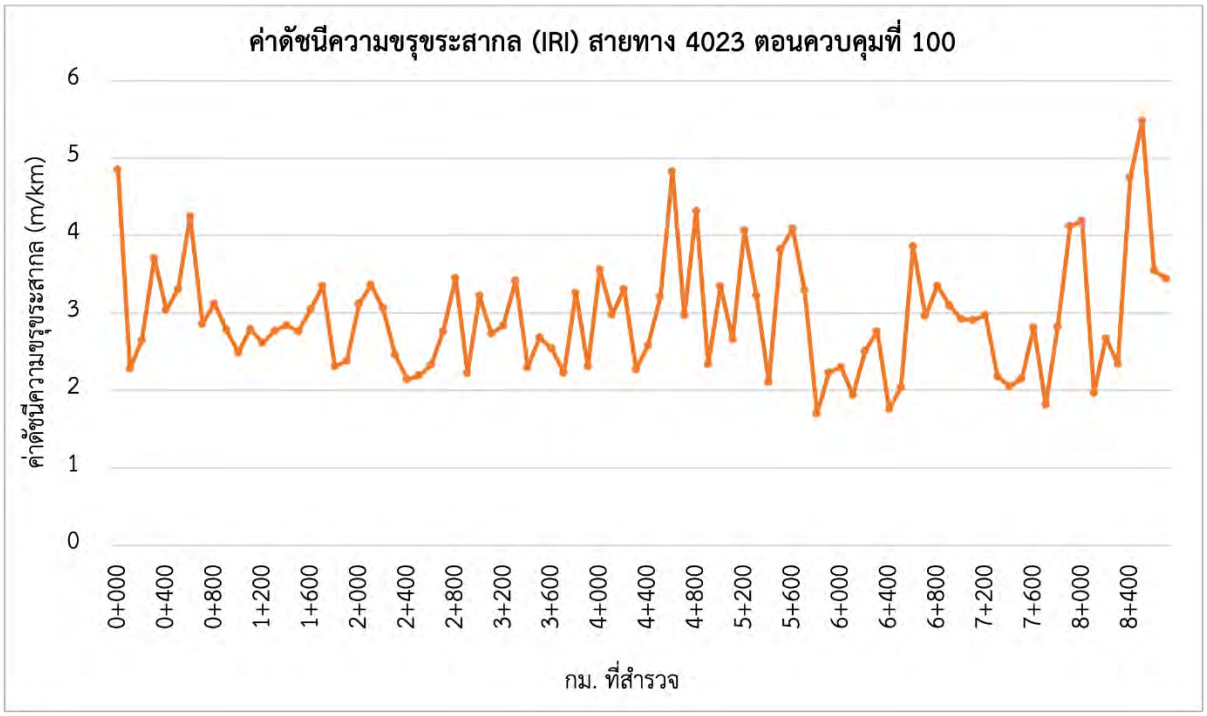
รูปที่ 3-38 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



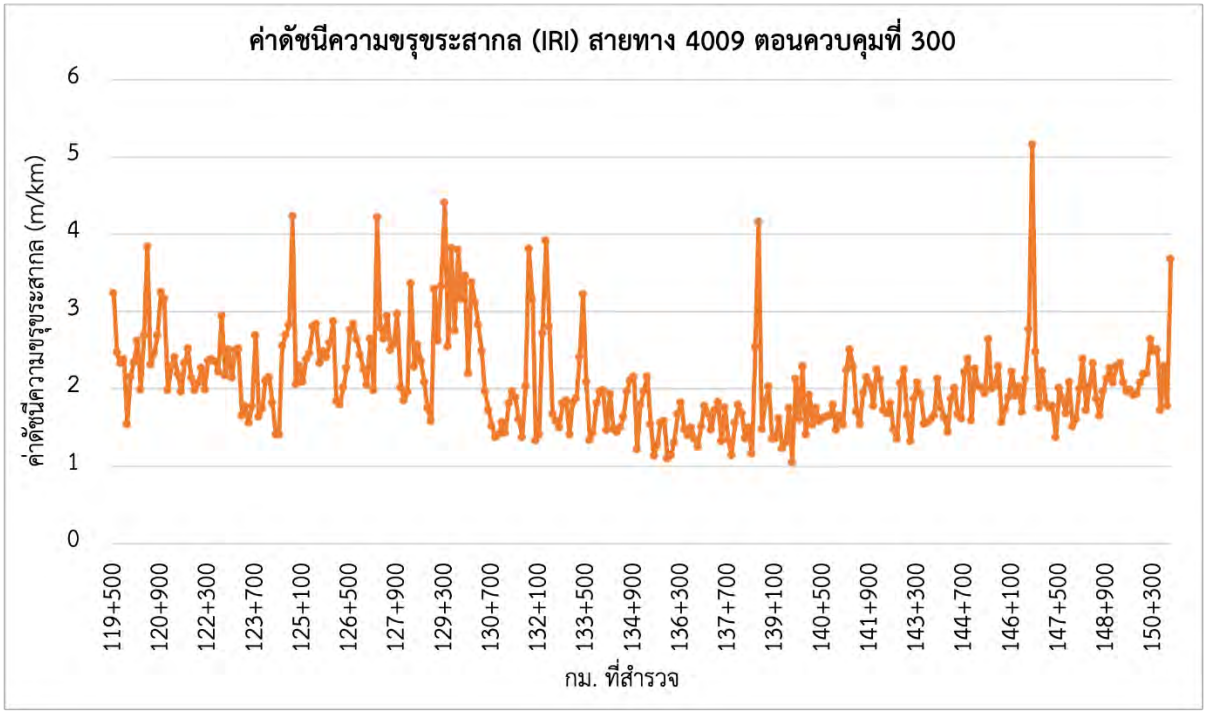
รูปที่ 3-39 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



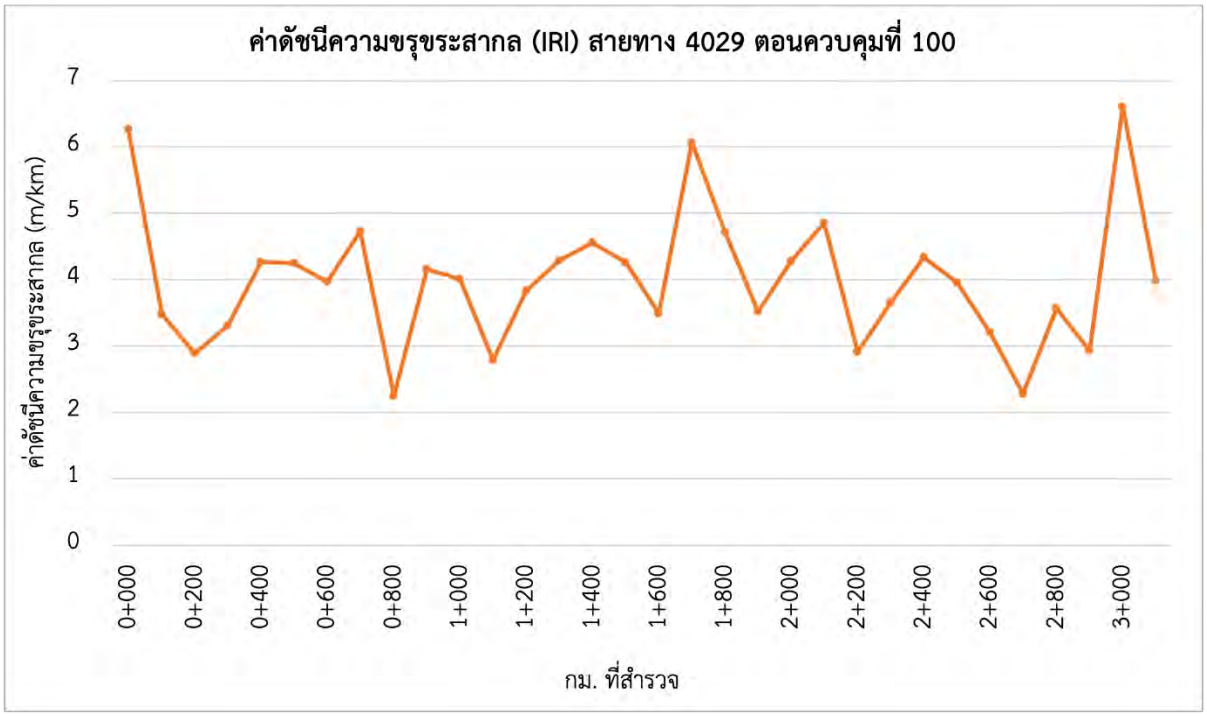
รูปที่ 3-40 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



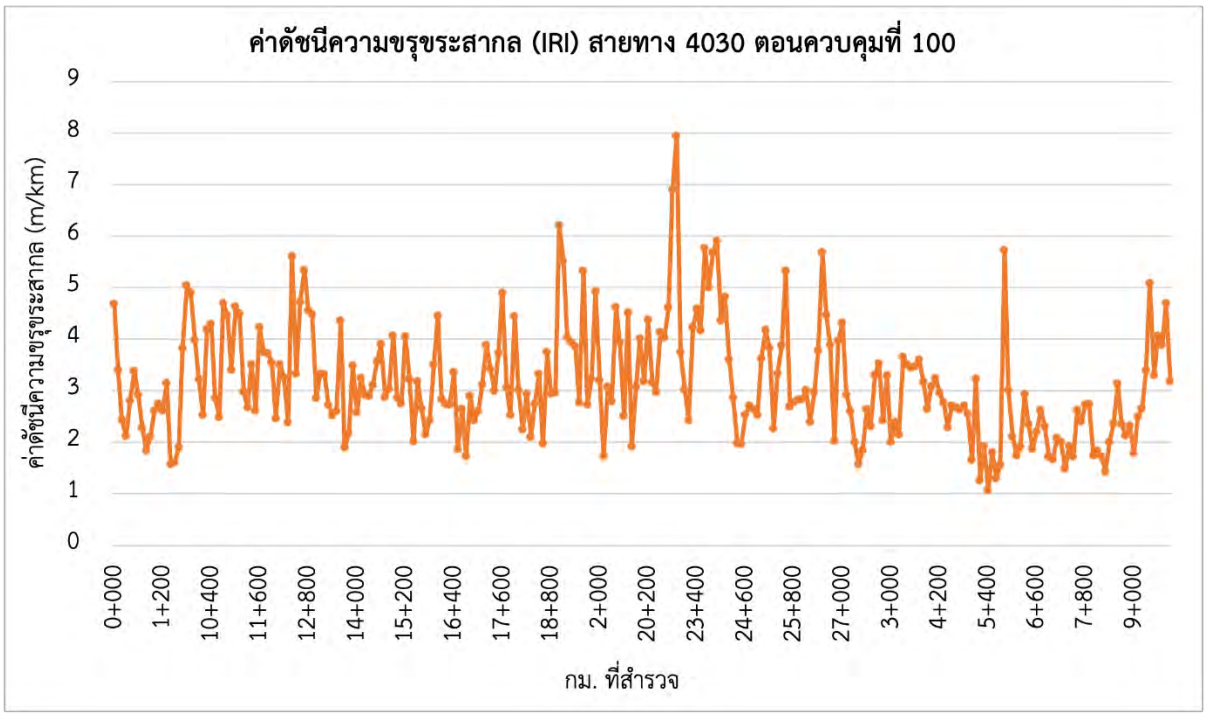
รูปที่ 3-41 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



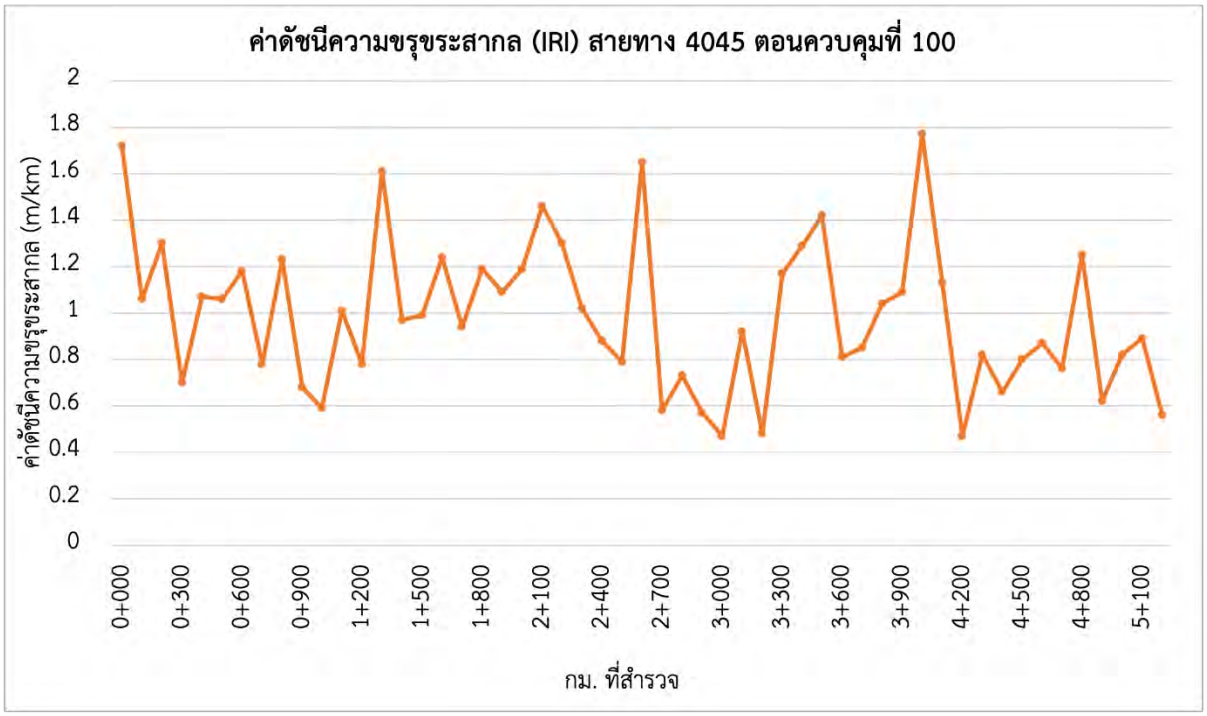
รูปที่ 3-42 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



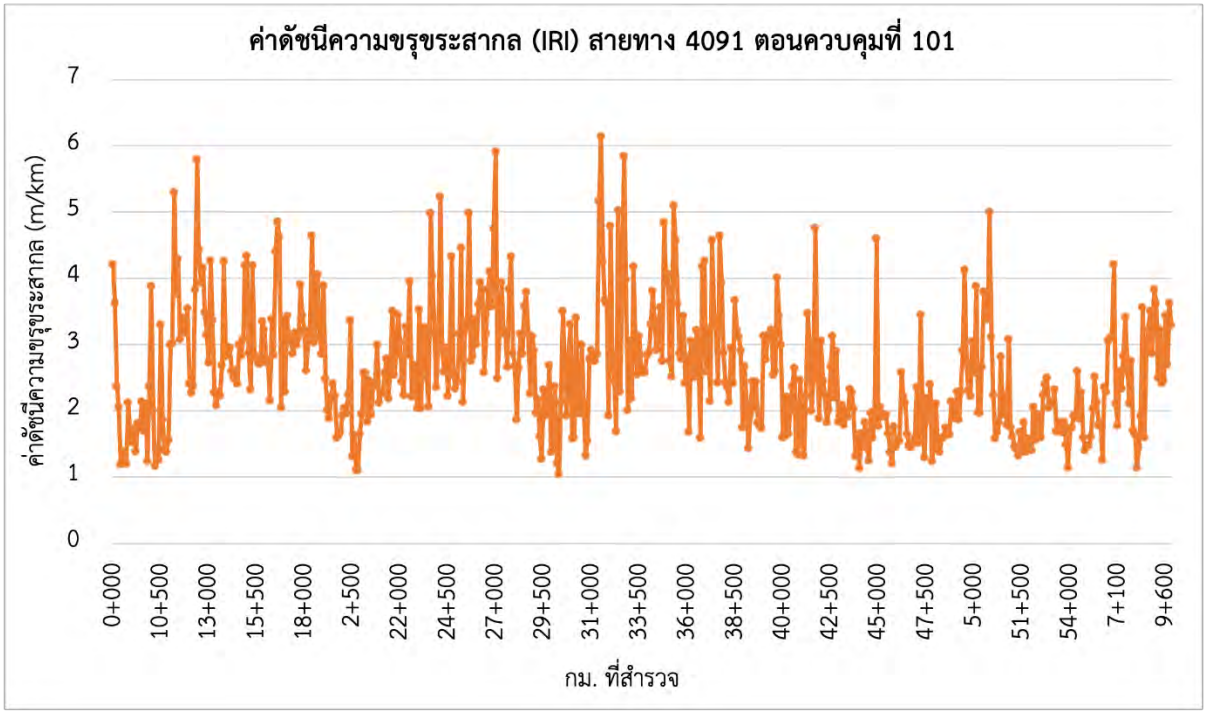
รูปที่ 3-43 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



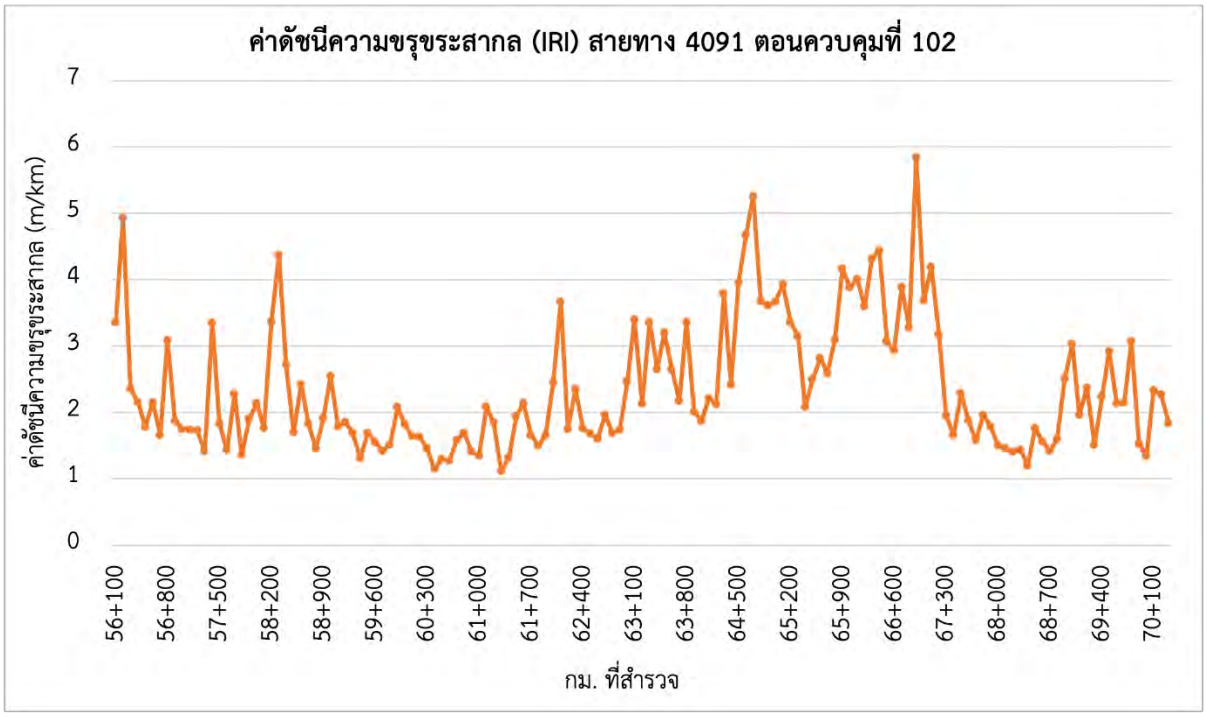
รูปที่ 3-44 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



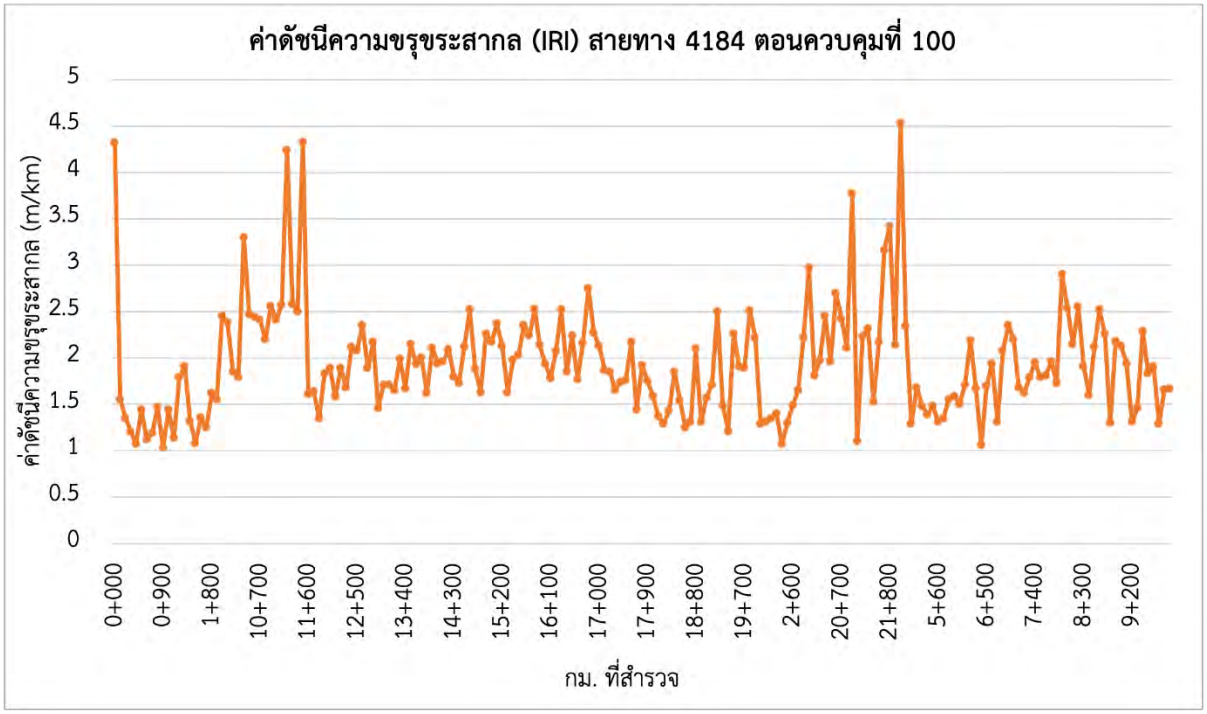
รูปที่ 3-45 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



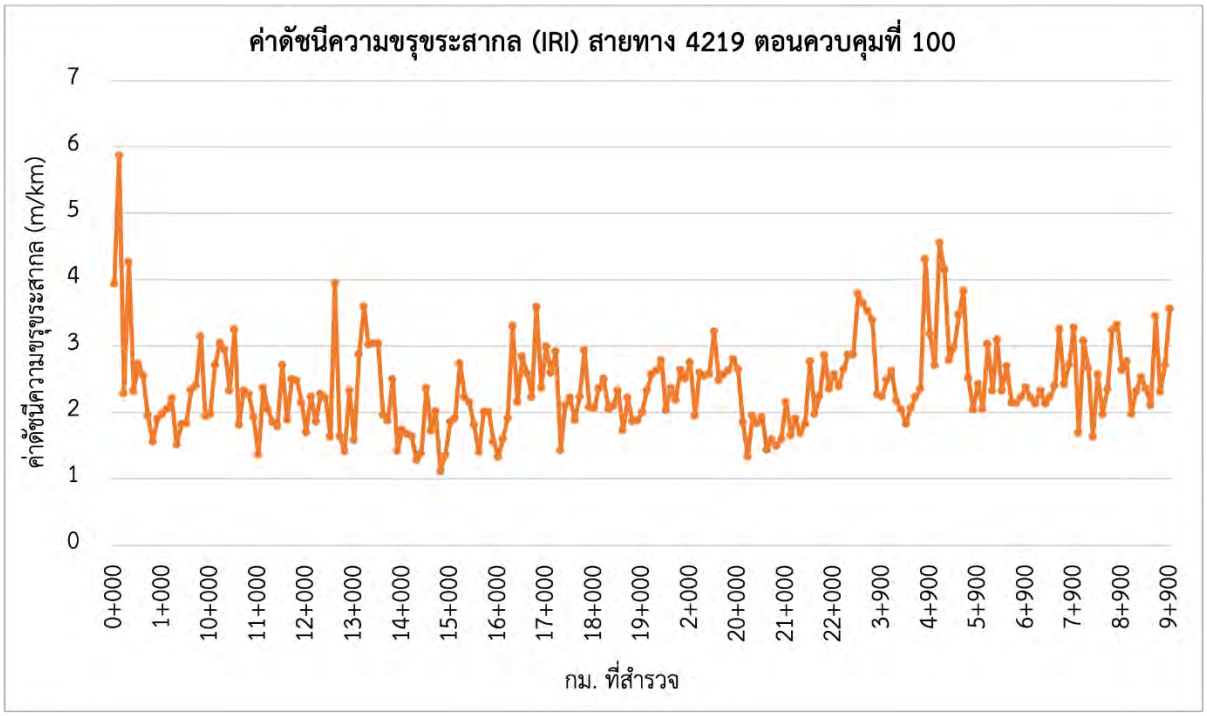
รูปที่ 3-46 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



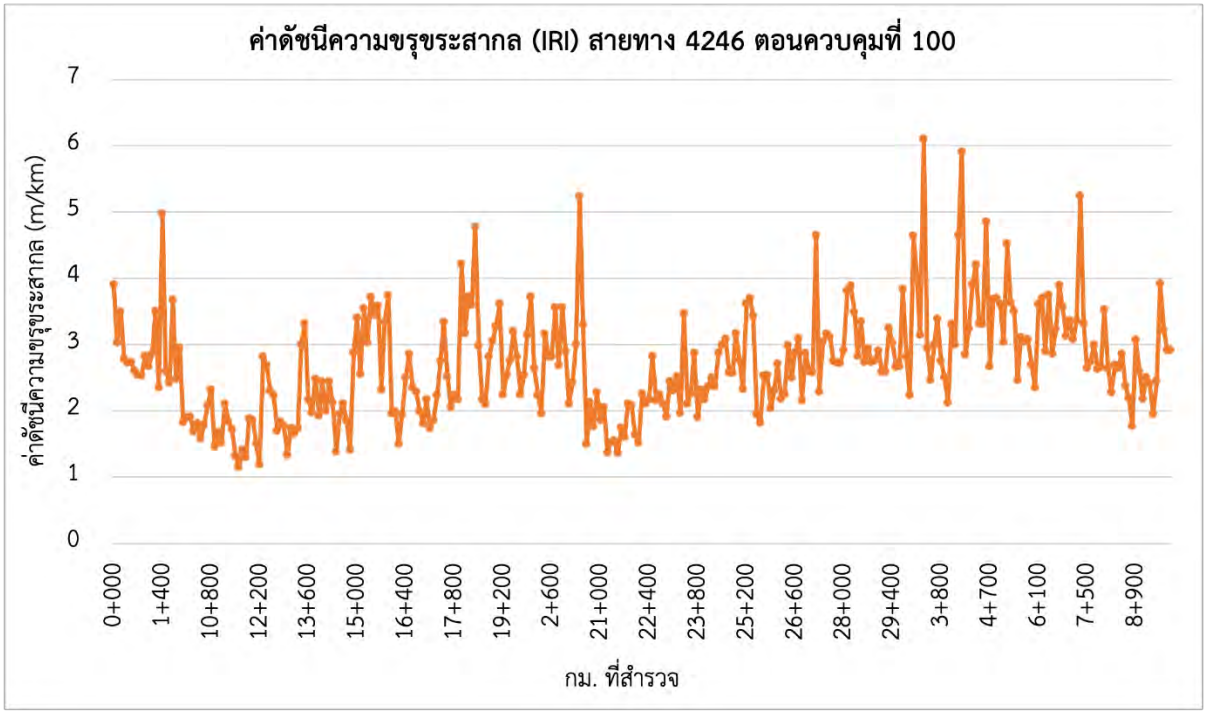
รูปที่ 3-47 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



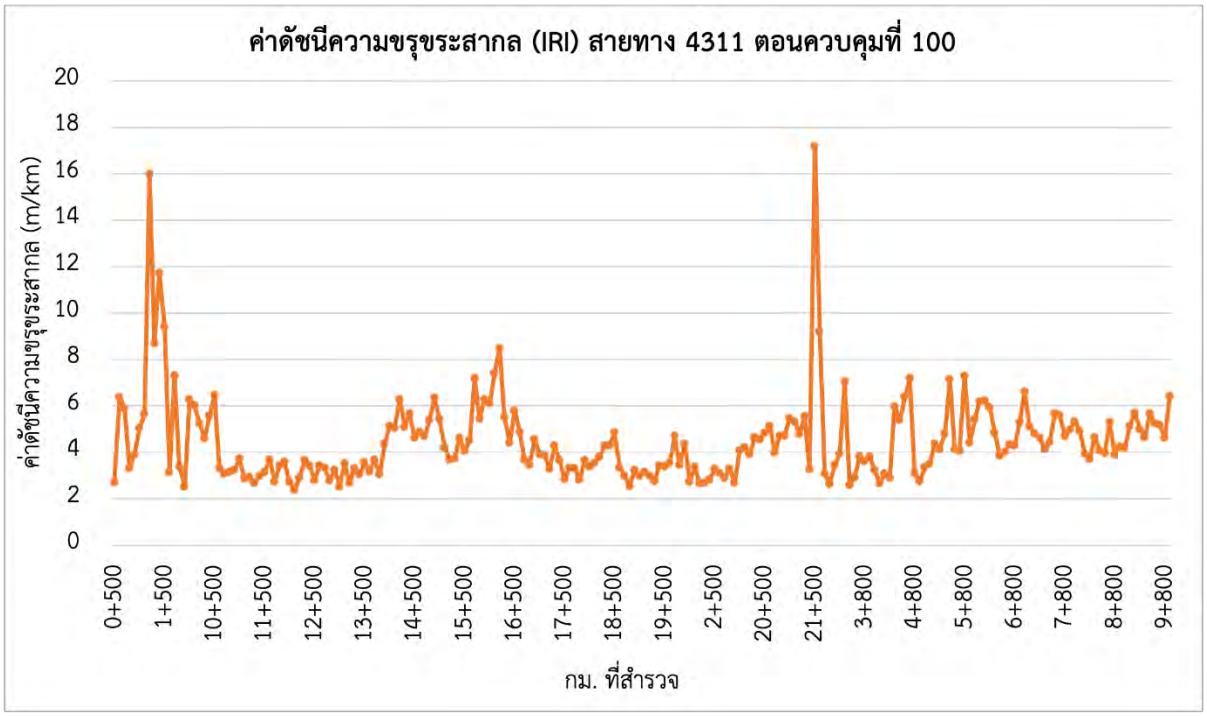
รูปที่ 3-48 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



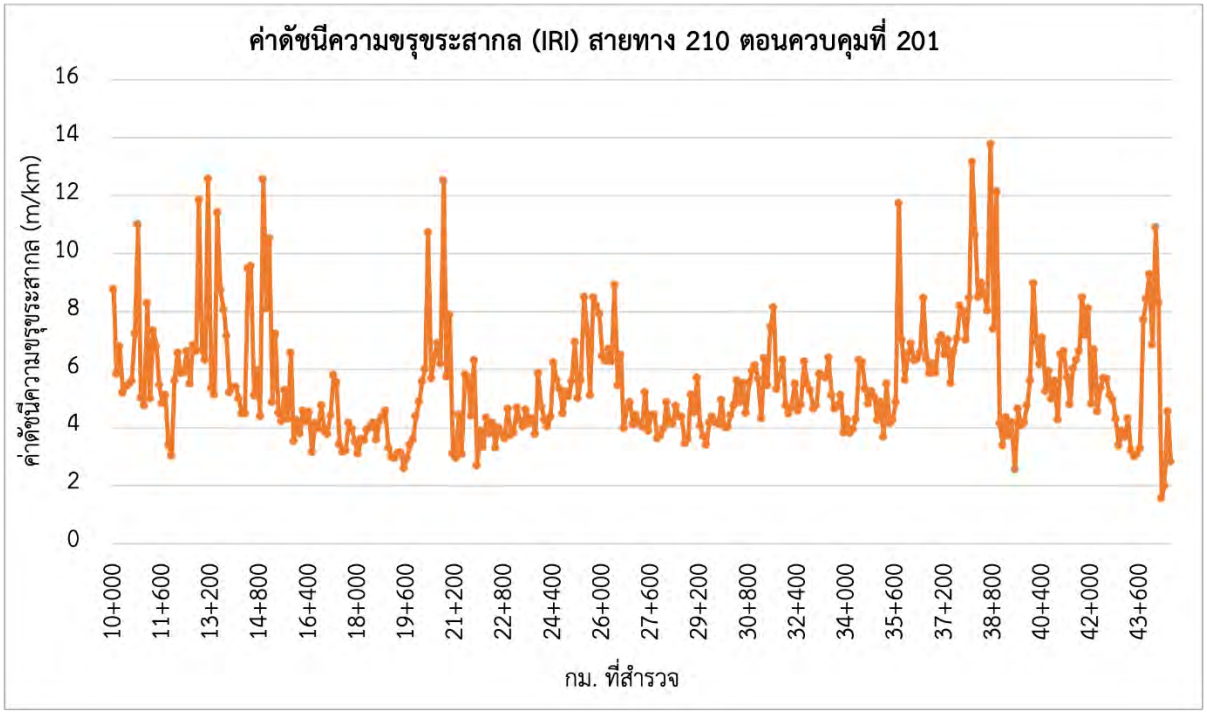
รูปที่ 3-49 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



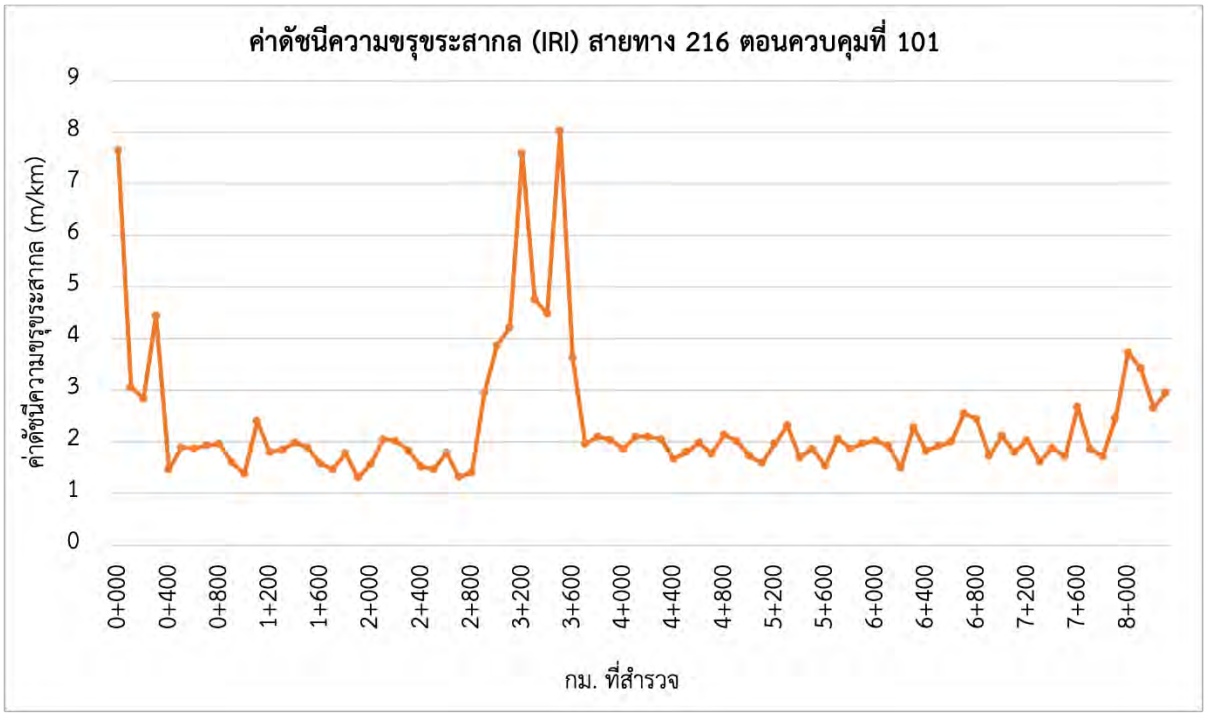
รูปที่ 3-50 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-51 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-52 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-53 กราฟแสดงค่า IRI ทุก 100 เมตร

3.1.3 ความหนาของโครงสร้างถนน

ที่ปรึกษาได้สำรวจความหนาของโครงสร้างถนน ด้วยการเจาะเก็บตัวอย่างผิวทาง เพื่อประเมินความหนาของโครงสร้างถนนในสายทางทดสอบ จำนวนอย่างน้อย 3 ตัวอย่างต่อสายทาง รวมเป็นจำนวน 123 ตัวอย่าง และมีผลทดสอบ แสดงดังตารางที่ 3-13

ตารางที่ 3-13 ตารางแสดงความหนาของโครงสร้างถนนในสายทางที่สำรวจ

ลำดับที่	สายทาง	ตอนควบคุม	กม.	Lat	Lon	ชั้นผิวทาง (cm)	ชั้นพื้นทาง (cm)	ชั้นรองพื้นทาง (cm)	ชั้นวัสดุคัดเลือก (cm)
1	2	602	460+500	17.4533659	102.7938414	10.0	32.0	48.0	
			473+000	17.5670690	102.8016220	13.0	29.0	52.0	
			486+000	17.6797980	102.7855580	7.0	28.0	47.0	
2	3	104	52+200	13.5110095	100.7843360	83.0	15.0	35.0	60.0
			57+000	13.5060640	100.8273940	85.0	18.0	36.0	63.0
			61+000	13.4918890	100.8609730	85.0	11.0	31.0	61.0
3	12	603	407+000	16.7194970	101.5908841	12.0	17.0	20.0	61.0
			386+000	16.7541900	101.4614330	8.0	22.0	16.0	66.0
			365+000	16.7288880	101.2950640	15.0	13.0	20.0	66.0
4	12	702	474+200	16.5335182	102.1254868	17.0	23.0	20.0	57.0
			483+000	16.5216860	102.2049660	14.0	20.0	21.0	57.0
			492+000	16.5191660	102.2860520	21.0	27.0	16.0	61.0
5	32	202	58+700	14.6551211	100.4738158	28.0	40.0	60.0	
			59+000	14.6578700	100.4733010	30.0	41.0	58.0	
			66+000	14.7174930	100.4554600	31.0	40.0	57.0	
6	32	101	8+000	14.2424959	100.6132127	25.0	40.0	55.0	
			10+000	14.2597020	100.6132250	28.0	35.0	57.0	
			13+000	14.2868260	100.6134150	24.0	43.0	57.0	

ตารางที่ 3-13 ตารางแสดงความหนาของโครงสร้างถนนในสายทางที่สำรวจ (ต่อ)

ลำดับที่	สายทาง	ตอนควบคุม	กม.	Lat	Lon	ชั้นผิวทาง (cm)	ชั้นพื้นทาง (cm)	ชั้นรองพื้นทาง (cm)	ชั้นวัสดุคัดเลือก (cm)
7	115	301	67+000	16.5093066	100.1394384	10.0	25.0	83.0	27.0
			74+000	16.5060200	100.2010500	11.0	27.0	79.0	27.0
			80+000	16.4800500	100.2472230	11.0	26.0	88.0	25.0
8	117	202	88+300	16.4918862	100.1453019	11.0	21.0	32.0	51.0
			80+000	16.4145140	100.1433950	11.0	20.0	34.0	54.0
			72+000	16.3439710	100.1283070	14.0	23.0	34.0	55.0
9	201	304	251+000	16.7396006	102.0001359	12.0	35.0	40.0	38.0
			243+000	16.6681840	101.9877860	8.0	37.0	39.0	35.0
			235+000	16.5977200	101.9957120	9.0	37.0	45.0	40.0
10	210	100	4+000	17.3698940	102.7190884	12.0	20.0	5.0	33.0
			6+000	17.3624480	102.6996040	7.0	22.0	5.0	29.0
			9+000	17.3480040	102.6759090	17.0	23.0	1.0	29.0
11	210	300	107+800	17.2995694	101.8761251	8.0	21.0	15.0	46.0
			101+000	17.3150540	101.9313710	10.0	19.0	19.0	43.0
			95+000	17.3089820	101.9759980	4.0	19.0	20.0	47.0
12	216	103	25+000	17.3743411	102.8244573	30.0	48.0	22.0	25.0
			25+500	17.3717140	102.8221370	27.0	47.0	18.0	25.0
			26+000	17.3679220	102.8189310	35.0	52.0	17.0	23.0

ตารางที่ 3-13 ตารางแสดงความหนาของโครงสร้างถนนในสายทางที่สำรวจ (ต่อ)

ลำดับที่	สายทาง	ตอนควบคุม	กม.	Lat	Lon	ชั้นผิวทาง (cm)	ชั้นพื้นทาง (cm)	ชั้นรองพื้นทาง (cm)	ชั้นวัสดุคัดเลือก (cm)
13	221	101	9+500	15.0231610	104.3646004	11.0	53.0	20.0	22.0
			27+000	14.8820540	104.4309300	8.0	50.0	23.0	27.0
			44+000	14.7564660	104.5090540	7.0	51.0	15.0	24.0
14	299	200	48+500	16.6845301	103.7725861	5.0	25.0	33.0	67.0
			75+000	16.5878260	103.9906610	10.0	23.0	35.0	70.0
			101+000	16.5043640	104.2060720	7.0	25.0	37.0	67.0
15	315	200	15+100	13.5361449	101.1485242	28.5	39.5	45.0	
			20+000	13.4950580	101.1644640	29.0	40.0	49.0	
			24+000	13.4600150	101.1733800	24.0	39.0	43.0	
16	1020	100	08+100	19.8277438	99.8835081	9.5	20.0	75.0	
			18+000	19.7459840	99.9141280	13.0	15.0	72.0	
			27+000	19.6679910	99.9306960	10.0	19.0	73.0	
17	1033	100	2+300	18.4519640	99.1165562	11.0	14.0	80.0	
			16+000	18.4225300	99.0032650	8.0	9.0	81.0	
			31+000	18.5250750	98.9672380	10.0	16.0	77.0	
18	1081	102	50+300	19.0210588	101.0759149	13.0	20.0	87.0	
			67+000	19.1040540	101.1539370	9.0	20.0	90.0	
			81+000	19.2128080	101.1851470	16.0	25.0	92.0	

ตารางที่ 3-13 ตารางแสดงความหนาของโครงสร้างถนนในสายทางที่สำรวจ (ต่อ)

ลำดับที่	สายทาง	ตอนควบคุม	กม.	Lat	Lon	ชั้นผิวทาง (cm)	ชั้นพื้นทาง (cm)	ชั้นรองพื้นทาง (cm)	ชั้นวัสดุคัดเลือก (cm)
19	1098	102	53+500	20.0547337	100.2837501	5.0	15.0	46.0	29.0
			14+000	20.1584490	100.0251650	9.0	11.0	45.0	31.0
			33+000	20.1099990	100.1387410	3.0	18.0	50.0	31.0
20	1150	200	81+900	19.3250138	99.5113323	6.0	26.0	13.0	83.0
			68+000	19.3096110	99.4105520	10.0	22.0	16.0	85.0
			54+000	19.3188590	99.3274170	4.0	25.0	8.0	86.0
21	3196	200	13+300	15.1917812	100.3761220	70.0	80.0	20.0	70.0
			22+000	15.1302560	100.4177040	76.0	85.0	19.0	72.0
			30+000	15.1227980	100.4857580	65.0	80.0	22.0	70.0
22	12	201	84+000	16.8349182	99.1021068	10.0	22.0	50.0	36.0
			38+000	16.7713470	98.7862820	10.0	23.0	50.0	36.0
			61+000	16.7725130	98.9344480	11.0	22.0	50.0	38.0
23	11	701	456+700	18.2845030	99.5155946	19.0	17.0	43.0	
			421+000	18.0568930	99.6837950	18.0	16.0	44.0	
			459+000	18.1709000	99.5908810	21.0	15.0	41.0	
24	1	1201	714+400	18.3477571	99.5509700	14.0	25.0	15.0	60.0
			774+000	18.6576790	99.9221000	15.0	27.0	13.0	61.0
			744+000	18.4491000	99.7859540	18.0	24.0	16.0	61.0

ตารางที่ 3-13 ตารางแสดงความหนาของโครงสร้างถนนในสายทางที่สำรวจ (ต่อ)

ลำดับที่	สายทาง	ตอนควบคุม	กม.	Lat	Lon	ชั้นผิวทาง (cm)	ชั้นพื้นทาง (cm)	ชั้นรองพื้นทาง (cm)	ชั้นวัสดุคัดเลือก (cm)
25	103	102	13+500	18.3801532	100.1992114	11.0	18.0	57.0	
			26+000	18.4761180	100.1371310	9.0	18.0	58.0	
			39+000	18.5667800	100.0950850	12.0	16.0	56.0	
26	11	601	358+700	17.8848688	100.0473564	12.0	27.0	65.0	
			369+000	17.9602080	100.0673350	10.0	29.0	63.0	
			380+000	17.9591920	99.9820350	14.0	25.0	67.0	
27	11	503	325+500	17.6470341	100.1371613	12.0	20.0	88.0	
			337+000	17.7481870	100.1338700	13.0	18.0	87.0	
			348+000	17.8224150	100.0871400	14.0	19.0	90.0	
28	11	501	281+700	17.3295205	100.2307349	20.0	17.0	89.0	
			273+000	17.2520180	100.2435470	19.0	16.0	89.0	
			297+000	17.4602600	100.2377750	20.0	16.0	88.0	
29	12	401	211+500	16.9473153	100.1324123	15.0	15.0	50.0	39.0
			218+000	16.9158820	100.1837310	14.0	13.0	48.0	40.0
			224+000	16.8687620	100.2111110	17.0	16.0	52.0	37.0
30	126	103	38+400	16.7553960	100.2914711	11.0	22.0	37.0	56.0
			35+000	16.7699580	100.3156770	11.0	22.0	39.0	54.0
			31+000	16.8016510	100.3317510	9.0	21.0	36.0	57.0

ตารางที่ 3-13 ตารางแสดงความหนาของโครงสร้างถนนในสายทางที่สำรวจ (ต่อ)

ลำดับที่	สายทาง	ตอนควบคุม	กม.	Lat	Lon	ชั้นผิวทาง (cm)	ชั้นพื้นทาง (cm)	ชั้นรองพื้นทาง (cm)	ชั้นวัสดุคัดเลือก (cm)
31	201	202	105+800	15.6772398	101.9943378	10.0	15.0	35.0	50.0
			115+000	15.7451510	102.0241790	8.0	13.0	33.0	51.0
			125+000	15.8144850	102.0603090	11.0	14.0	35.0	52.0
32	3042	100	2+000	14.4689899	100.9270730	35.0	15.0	35.0	40.0
			3+000	14.4688610	100.9361190	33.0	16.0	36.0	42.0
			0+000	14.4576670	100.9460960	35.0	13.0	35.0	41.0
33	406	102	62+000	6.8614386	100.1160832	19.0	20.0	95.0	
			75+000	6.7565750	100.0683180	17.0	18.0	96.0	
			89+000	6.6325480	100.0700450	20.0	20.0	95.0	
34	4009	300	123+000	8.5626474	98.9100307	5.0	25.0	3.0	15.0
			137+000	8.4844870	98.8237070	7.0	23.0	2.0	15.0
			150+000	8.4028070	98.7463200	5.0	26.0	1.0	15.0
35	4311	100	12+500	8.4648920	98.5922310	12.0	60.0	40.0	
			17+000	8.4825830	98.6237780	14.0	61.0	40.0	
			21+000	8.5148490	98.6329620	13.0	58.0	38.0	
36	4029	100	2+000	7.9034869	98.3146993	26.0	35.0	17.0	43.0
			1+000	7.9036050	98.3058800	29.0	37.0	16.0	40.0
			3+000	7.9035120	98.3222900	26.0	34.0	17.0	42.0

ตารางที่ 3-13 ตารางแสดงความหนาของโครงสร้างถนนในสายทางที่สำรวจ (ต่อ)

ลำดับที่	สายทาง	ตอนควบคุม	กม.	Lat	Lon	ชั้นผิวทาง (cm)	ชั้นพื้นทาง (cm)	ชั้นรองพื้นทาง (cm)	ชั้นวัสดุคัดเลือก (cm)
37	4030	100	2+000	8.0171489	98.3228385	6.0	15.0	90.0	
			11+000	7.9673450	98.2813080	6.0	16.0	92.0	
			20+000	7.9128970	98.2942530	5.0	14.0	91.0	
38	4246	100	4+000	8.8619203	98.9049341	1.0	15.0	40.0	60.0
			17+000	8.7965980	98.9524680	2.0	16.0	38.0	59.0
			29+000	8.7423880	99.0125500	2.0	15.0	40.0	60.0
39	4003	100	5+700	10.2329905	99.1399671	12.0	15.0	90.0	
			10+000	10.2334170	99.1717060	10.0	17.0	89.0	
			14+000	10.2612650	99.1914070	12.0	16.0	88.0	
40	4	502	167+300	12.9855193	99.9003547	9.0	20.0	12.0	35.0
			163+000	13.0195220	99.9212780	9.0	18.0	14.0	36.0
			158+000	13.0586310	99.9442030	10.0	19.0	13.0	33.0
41	35	201	26+000	13.5687761	100.2851167	10.0	20.0	13.0	27.0
			24+000	13.5772510	100.3027040	9.0	22.0	14.0	26.0
			21+000	13.5890460	100.3276160	12.0	20.0	15.0	28.0

หมายเหตุ: Layer 1 = ชั้นผิวทาง, Layer 2 = ชั้นพื้นทาง, Layer 3 = ชั้นรองพื้นทาง, Layer 4 = ชั้นวัสดุคัดเลือก

3.1.4 ข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ที่ปรึกษาจะสำรวจข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สมรรถนะ (Performance Analysis) และประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis) ของโครงสร้างถนน เช่น การสำรวจความเสียหายของผิวทางด้วยสายตา (Visual Inspection) ชนิดผิวทาง ชนิดวัสดุมวลรวมปริมาณจราจร อายุสายทาง ค่า Mean Profile Depth (MPD) และประวัติงานซ่อมบำรุงผิวทาง เป็นต้น

โดยที่ปรึกษาคาดว่าจะอ้างอิงจากจากฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะ (Performance Analysis) และประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis) ของโครงสร้างถนน โดยมีรายละเอียดเพิ่มเติมของข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

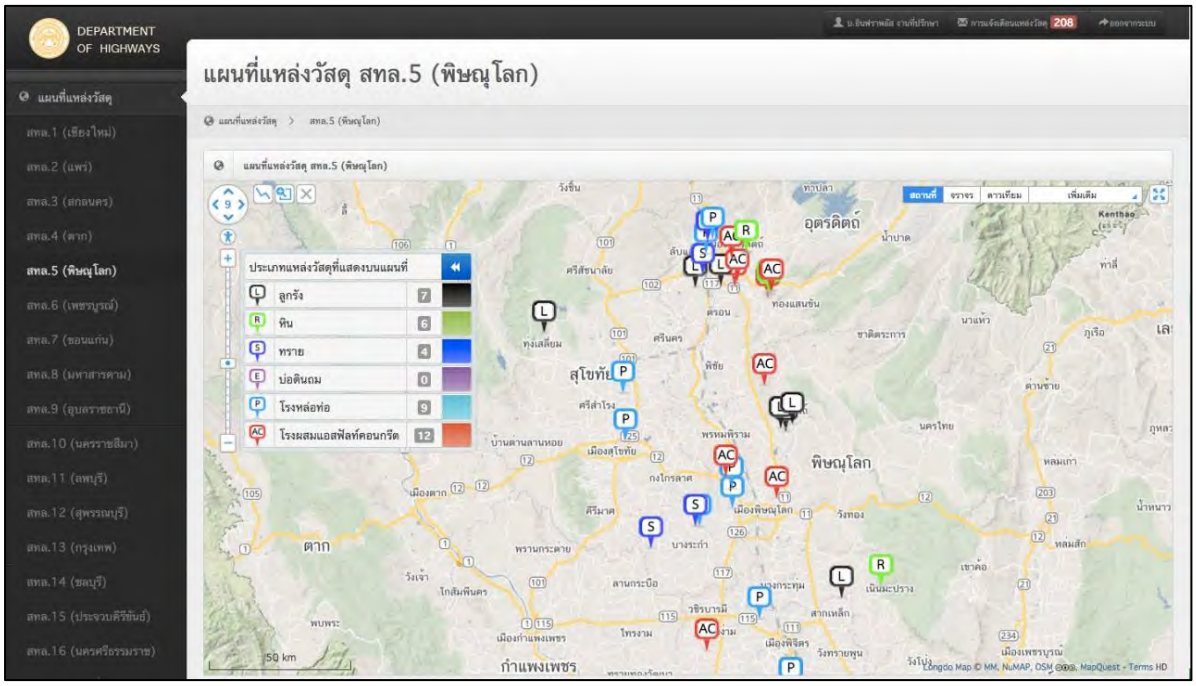
3.1.4.1 งานซ่อมย้อนหลัง 4 ปี (งานระบบ 27 ช่อง) จากสำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง โดยมีรายละเอียดในเอกสารประกอบด้วย รหัสงานซ่อมบำรุง ลักษณะงานซ่อมบำรุง หน่วยงาน จังหวัดที่ทำงานซ่อมบำรุง สำนักงานทางหลวงที่รับผิดชอบ ชื่อตอนควบคุม ช่วงหลักกิโลเมตร ปริมาณงาน ปีที่ซ่อมบำรุง แสดงดังรูปที่ 3-54

รายละเอียดแผนงาน - สรุปงบประมาณงานบำรุงรักษาทางหลวงปี 2555 - 2558 (ห้ามแก้ไข)

ลำดับที่	รหัสงาน	ลักษณะงาน	หน่วยงาน	จังหวัด	ภาค	สทล./สงล.	ทางหลวงหมายเลข	ชื่อตอนควบคุม	ช่วง กม. - กม.	ปริมาณงาน	หน่วย	การจัดสรร (หลัก)
1	4100	กิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวง	สกลนครที่ 1	สกลนคร	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	3	2346	ตอนเชียงบาน - นาหว้า	13+620 - 14+300 21+070 - 21+890	11,700.00	ตร.ม.	ปี 2556
2	2400	กิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวง	อ่างทอง-อยุธยา	อ่างทอง	ภาคกลาง	10	347	กม.50+000 (ต่อเขตแขวงฯอยุธยา) - บรรจบทางหลวงหมายเลข 32 (บางปะหัน)	50+000 - 50+519	20,000.00	ม.	ปี 2556
							347	บริเวณทางแยกต่างระดับบางปะหัน	0+000 - 0+762 50+519 - 50+794			
3	3600	กิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวง	อ่างทอง-อยุธยา	อ่างทอง	ภาคกลาง	10	32	นครหลวง - ทางแยกต่างระดับอ่างทอง	26+000 - 43+000	28,500.00	ตร.ม.	ปี 2556
4	5700	กิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวง	อุบลราชธานีที่ 2	อำนาจเจริญ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	7	217	สามแยกเข้าพิบูลมังสาหาร - ช่องเม็ก	48+700 - 55+830 (บริเวณเกาะกลางถนน)	1.00	แห่ง	ปี 2556
5	4100	กิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวง	ร้อยเอ็ด	ร้อยเอ็ด	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	มหาสารคาม	232	ถนนวงแหวนรอบเมืองร้อยเอ็ด(ด้านใต้)	121+700 - 122+200 123+018 - 123+300			ปี 2556
6	4100	กิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวง	สมุทรสงคราม	ราชบุรี	ภาคกลาง	13	3206	ท่ายาง - โป่งกระทิง	51+940 - 54+104	19,476.00	ตร.ม.	ปี 2556
7	2150	กิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวง	เพชรบุรี	เพชรบุรี	ภาคกลาง	13	3349	แยกทางหลวงหมายเลข 4 - หนองหญ้าปล้อง	0+650 - 5+300	41,850.00	ตร.ม.	ปี 2556
8	2150	กิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวง	อุตรดิตถ์ที่ 1	อุตรดิตถ์	ภาคเหนือ	4	1196	แยกทางหลวงหมายเลข1104(วังโป่ง)-บรรจบทางหลวงหมายเลข102	0+000 - 8+000			ปี 2556
9	2150	กิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวง	อุตรดิตถ์ที่ 2	อุตรดิตถ์	ภาคเหนือ	4	1339	แยกทางหลวงหมายเลข 1176 (บ้านสวน) - ปากนาย	21+000 - 30+165 เป็นตอนๆ	67,676.00	ตร.ม.	ปี 2556

รูปที่ 3-54 ตัวอย่างเอกสารงานซ่อมย้อนหลัง 4 ปี (งานระบบ 27 ช่อง)

3.1.4.2 ข้อมูลชนิดของวัสดุผิวทาง จากส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรมของแต่ละเขตและระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์และตรวจสอบสภาพทางหลวง (Material and Inspection Information System : MIIS) รวมถึงระบบฐานข้อมูลแหล่งวัสดุของกรมทางหลวง จากสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ แสดงดังรูปที่ 3-55



รูปที่ 3-55 ตัวอย่างหน้าจอระบบฐานข้อมูลแหล่งวัสดุของกรมทางหลวง

3.1.4.3 ผลการทดสอบค่า MPD จากเครื่องมือ Laser Profiler ตามมาตรฐาน ASTM E1845 ทั้งจากข้อมูลภาคสนามและฐานข้อมูลของกรมทางหลวง แสดงดังรูปที่ 3-56 ถึงรูปที่ 3-96 ที่ปรึกษาได้ใช้เครื่องมือ Laser Profilometer ในการสำรวจค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) เพื่อจัดทำแบบจำลองการพยากรณ์ทางวิศวกรรม โดยที่ปรึกษาเลือกใช้ค่าความลึกเฉลี่ยผิวทางโดยวิเคราะห์ทุกระยะ 100 เมตร โดยมีผลการวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 3-56 ถึงรูปที่ 3-96



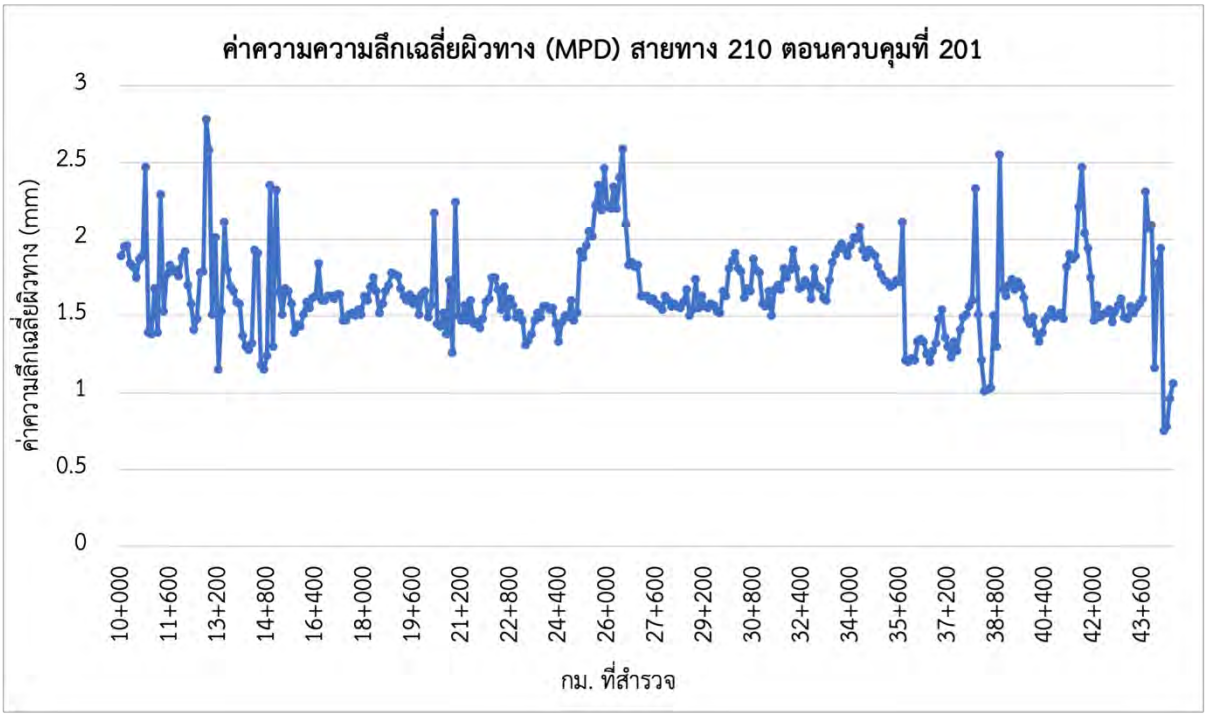
รูปที่ 3-56 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-57 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-58 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



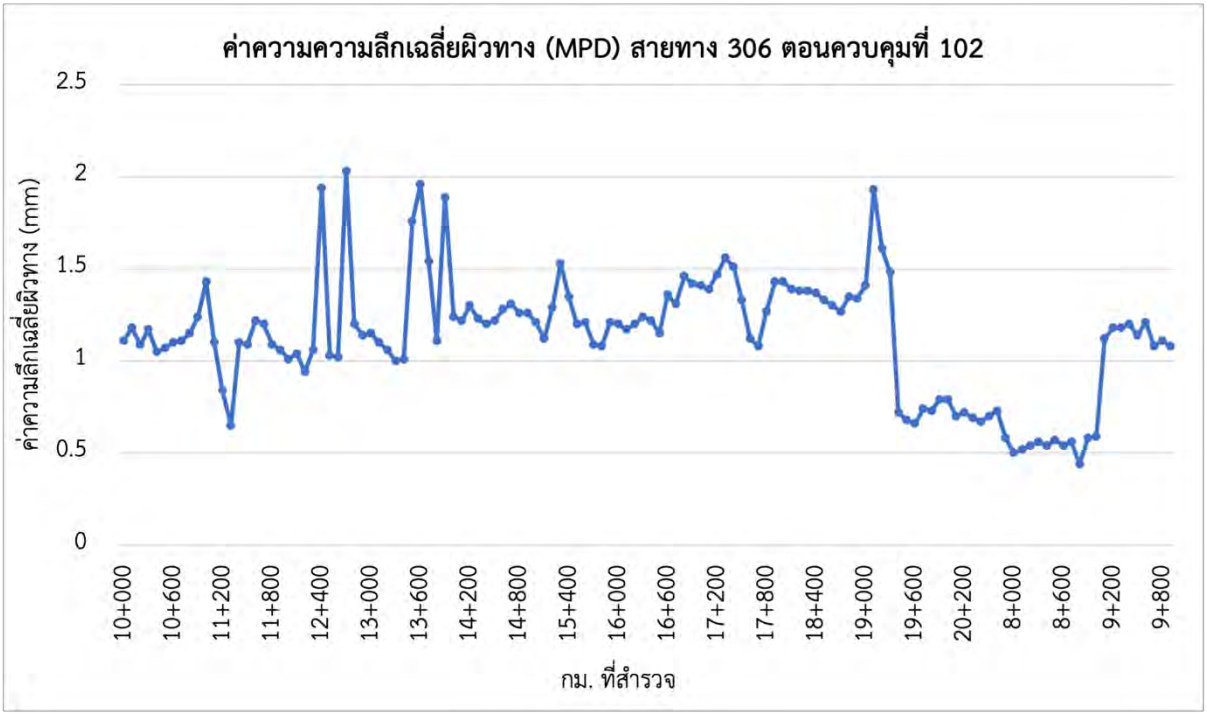
รูปที่ 3-59 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



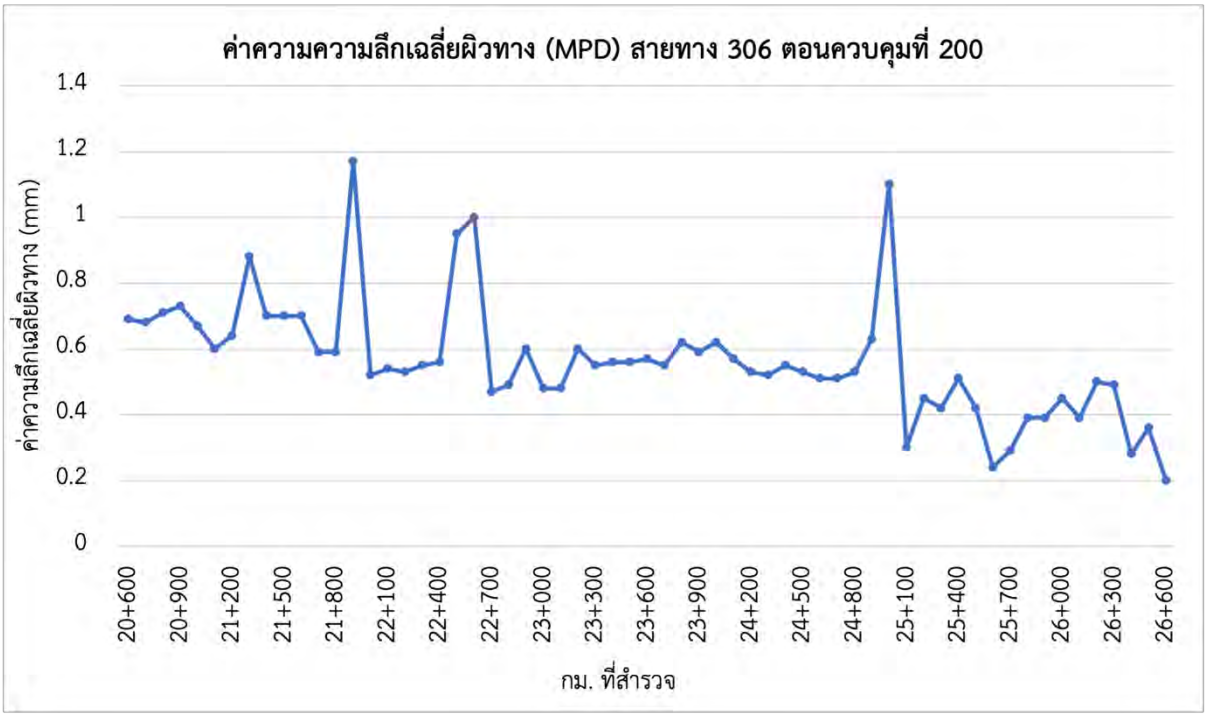
รูปที่ 3-60 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-61 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-62 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



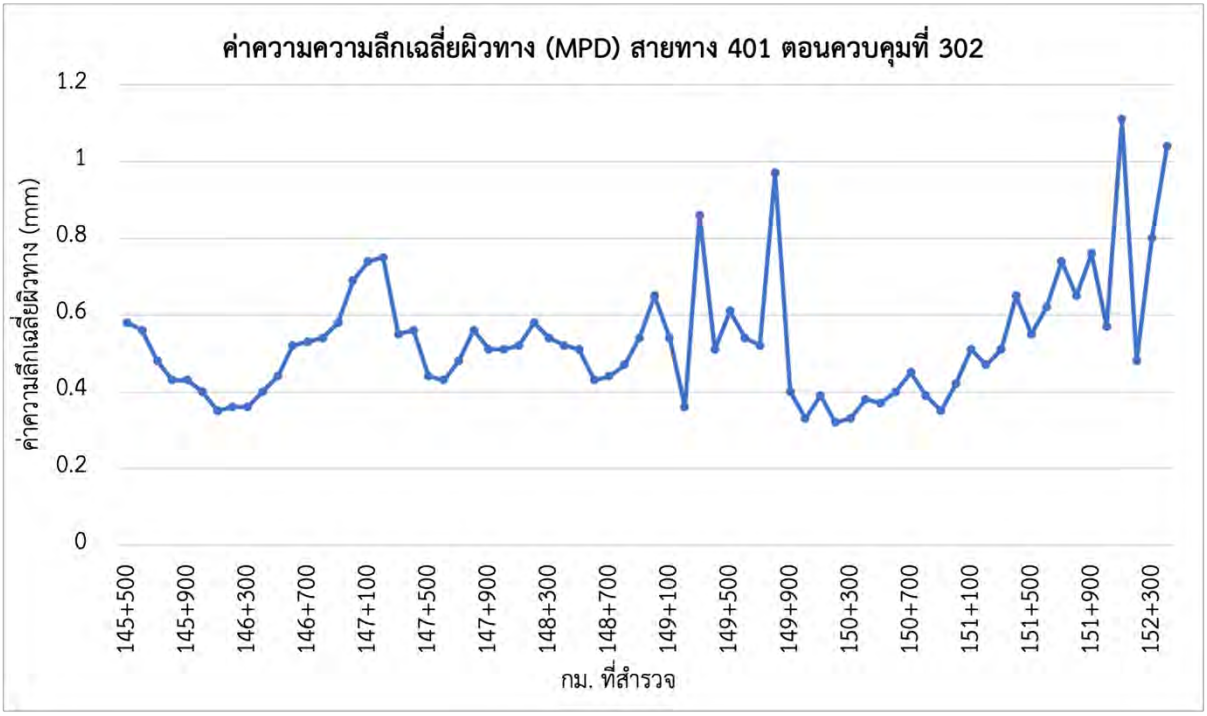
รูปที่ 3-63 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



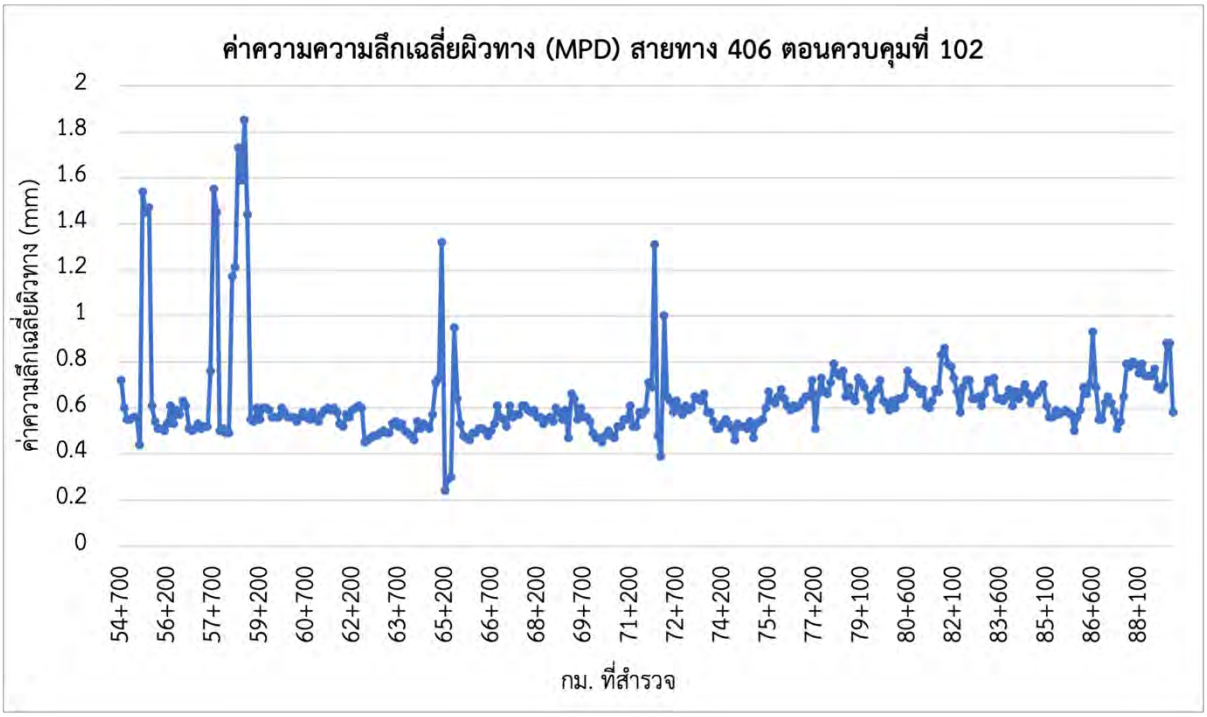
รูปที่ 3-64 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



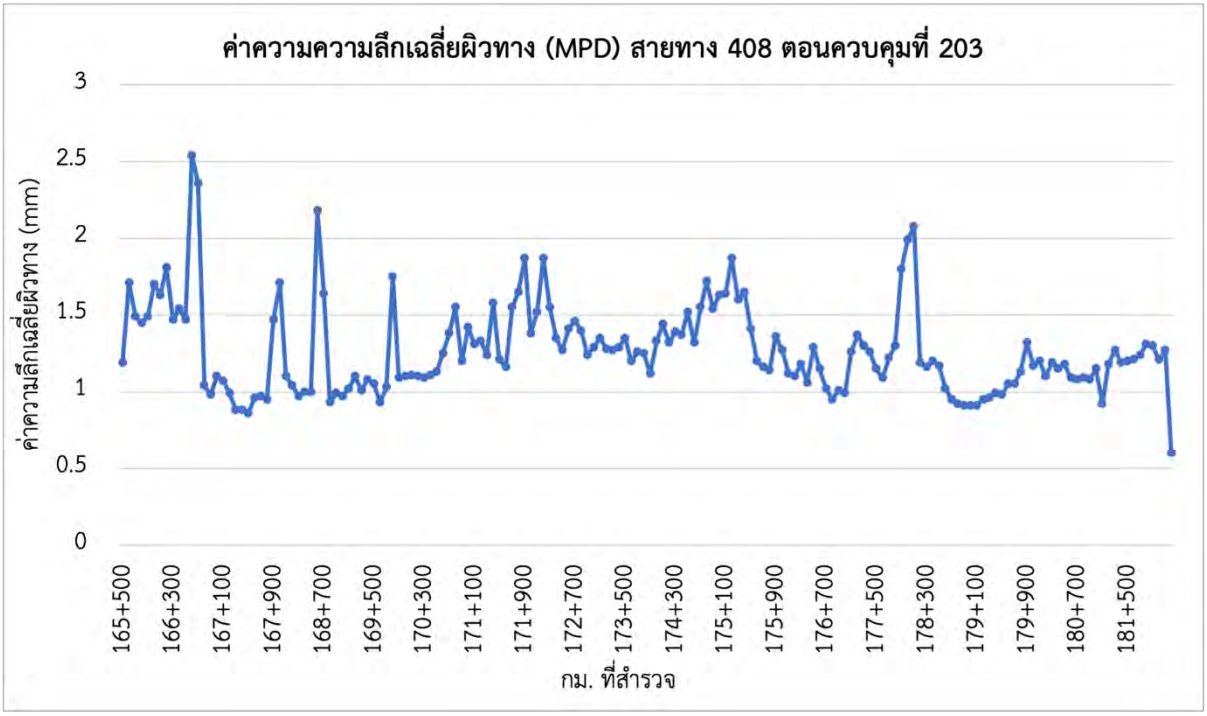
รูปที่ 3-65 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



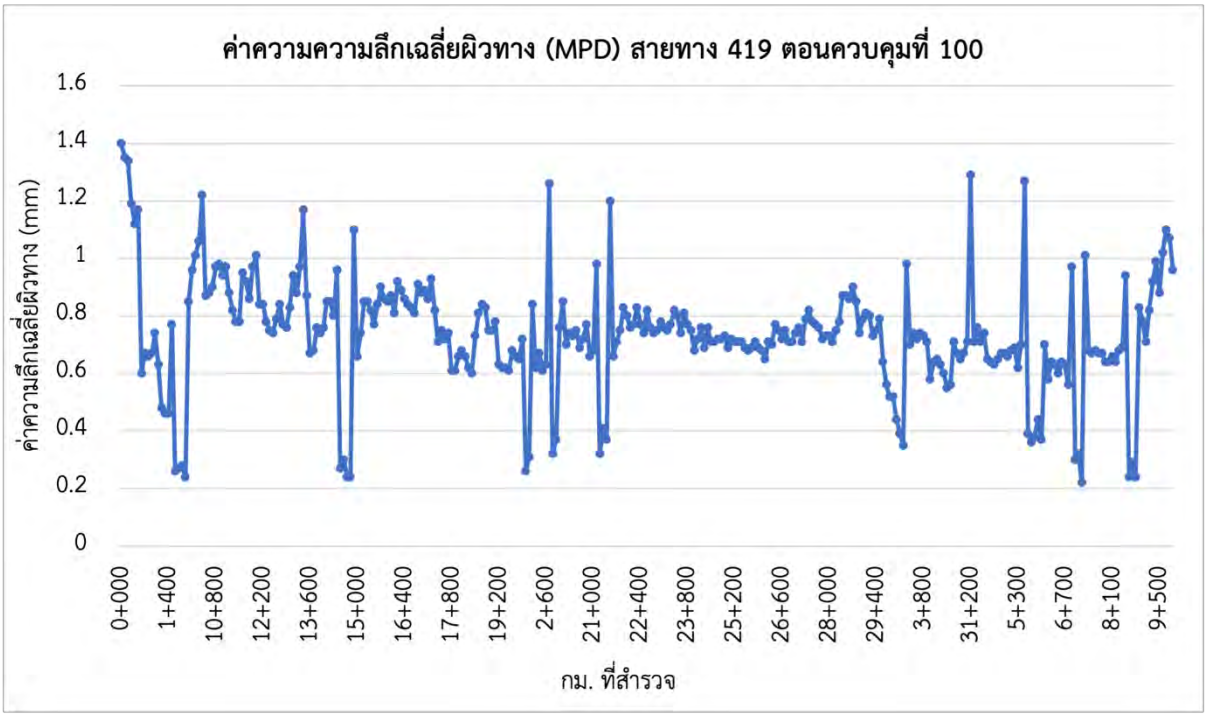
รูปที่ 3-66 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



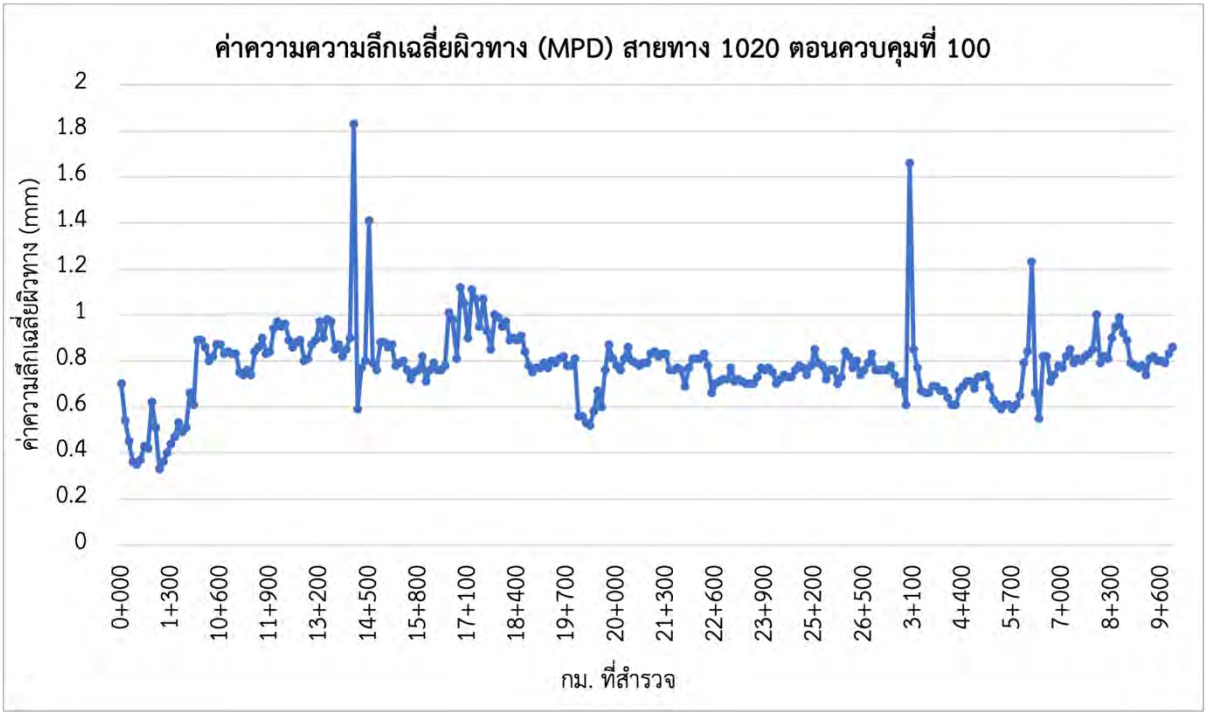
รูปที่ 3-67 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



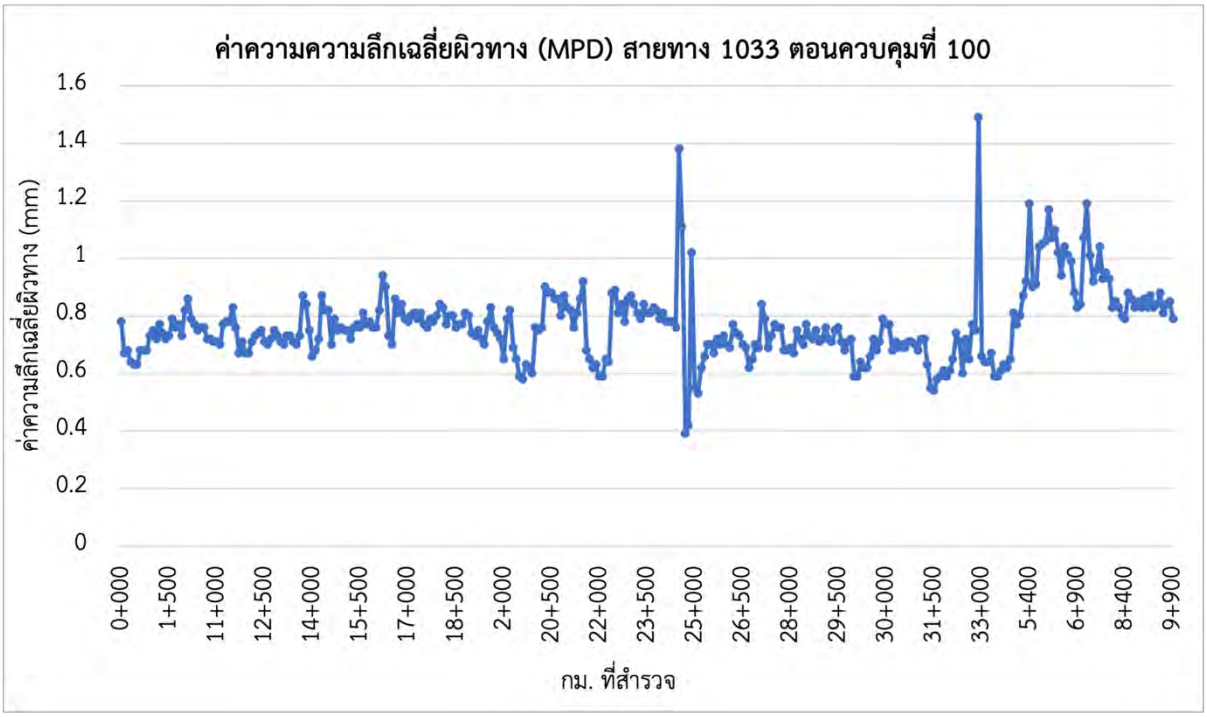
รูปที่ 3-68 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-69 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



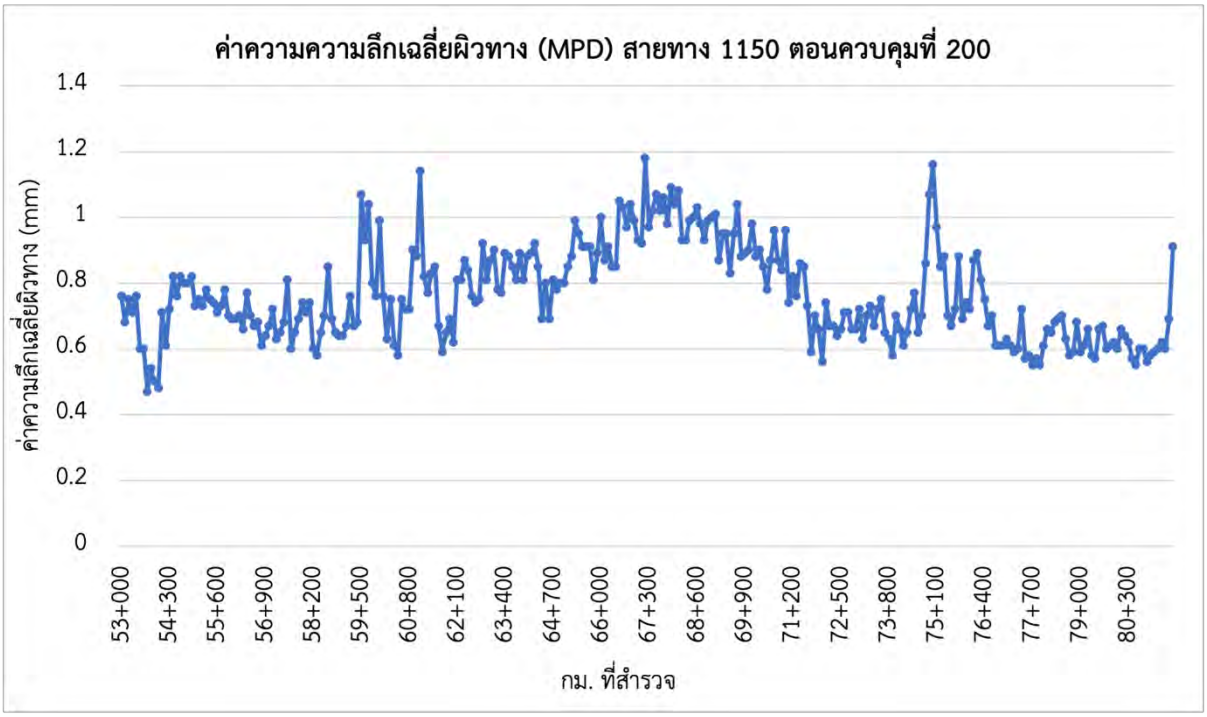
รูปที่ 3-70 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



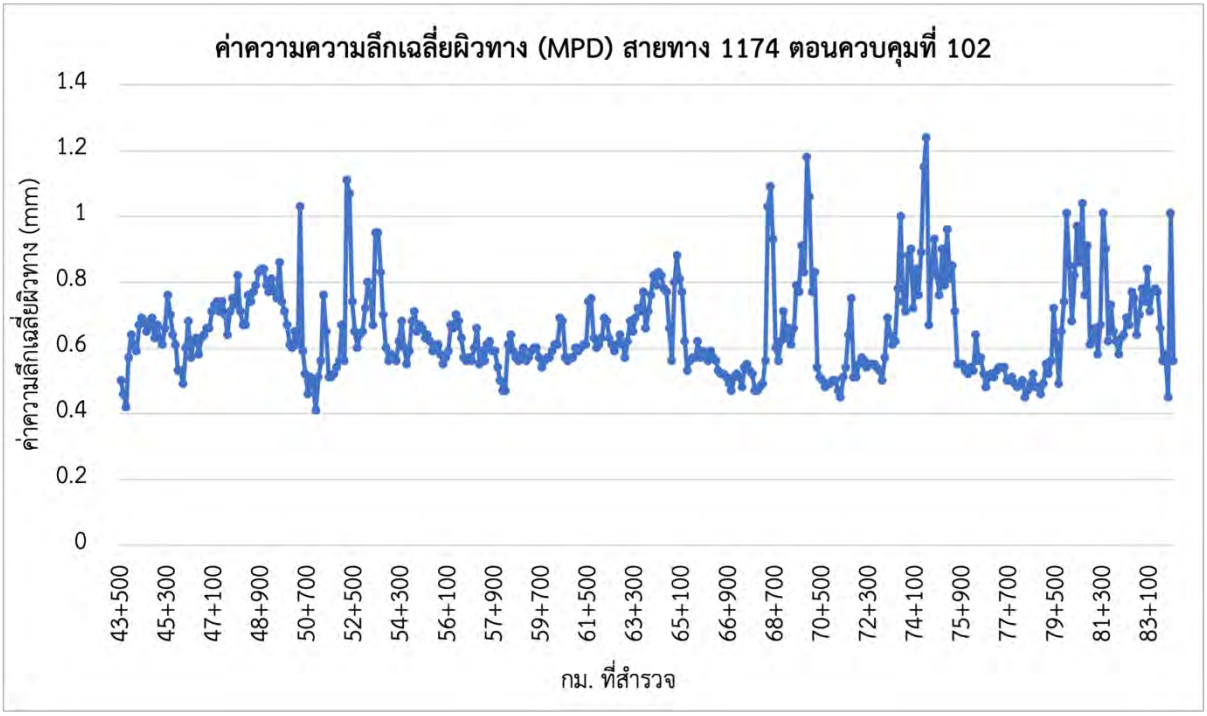
รูปที่ 3-71 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-72 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-73 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-74 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



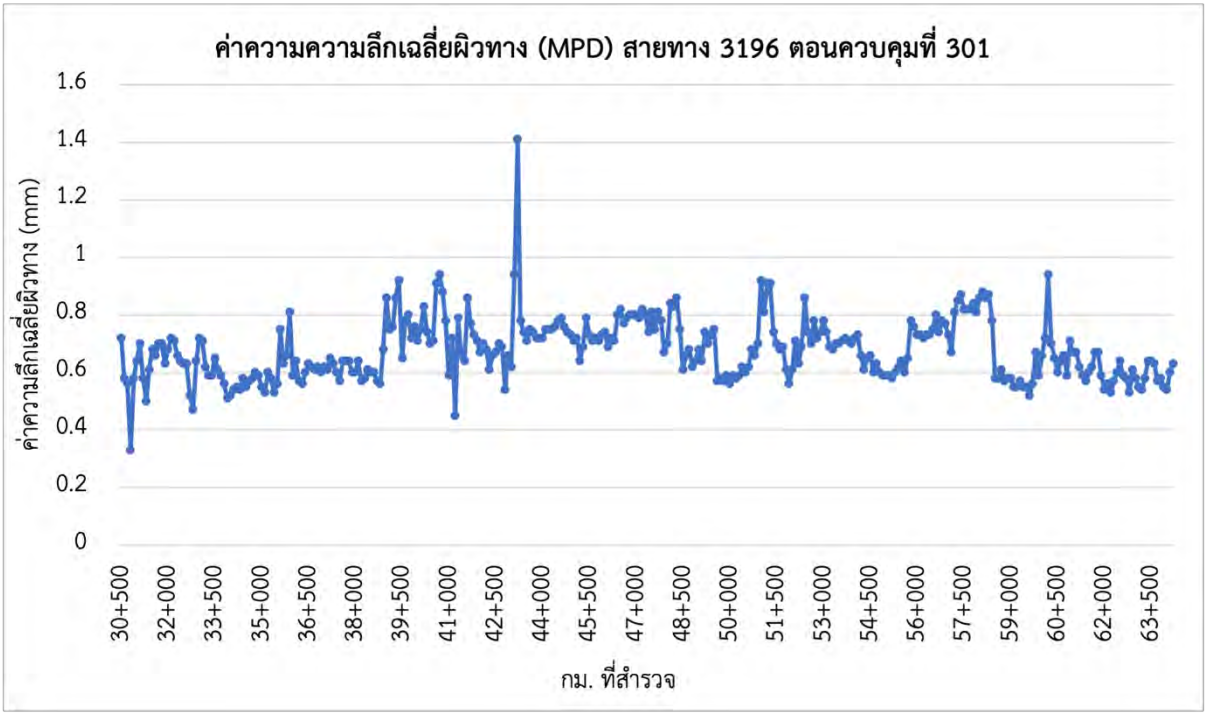
รูปที่ 3-75 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



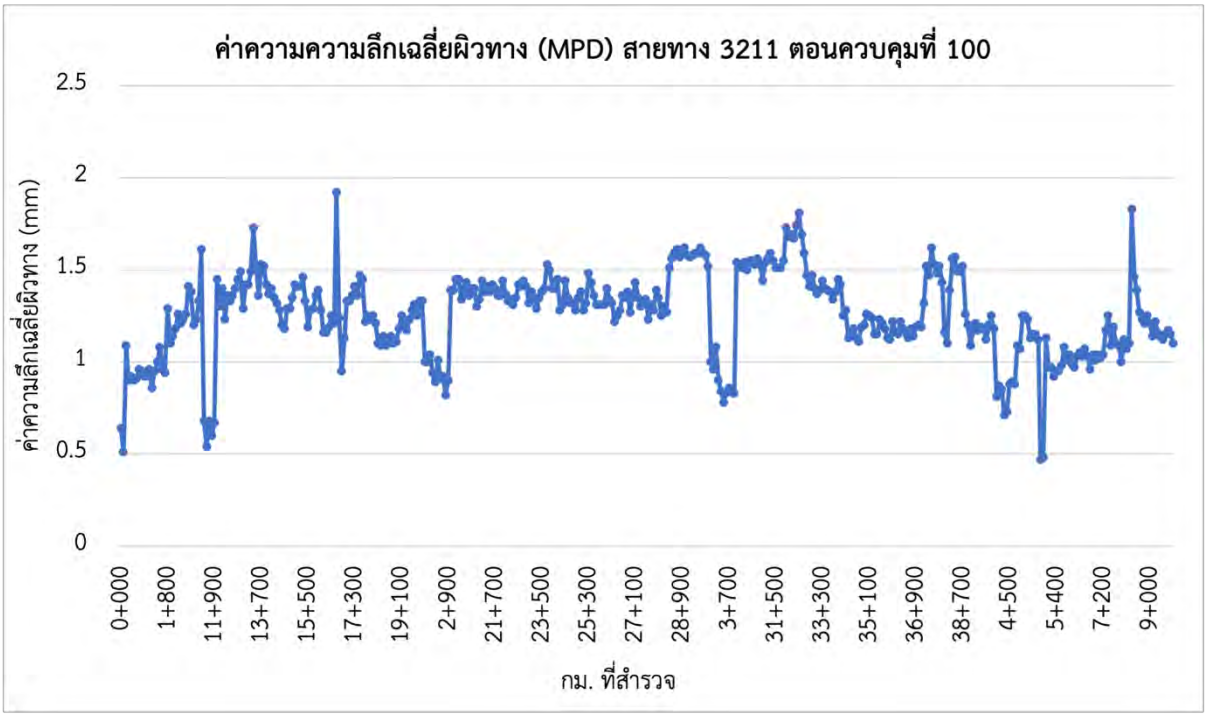
รูปที่ 3-76 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-77 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



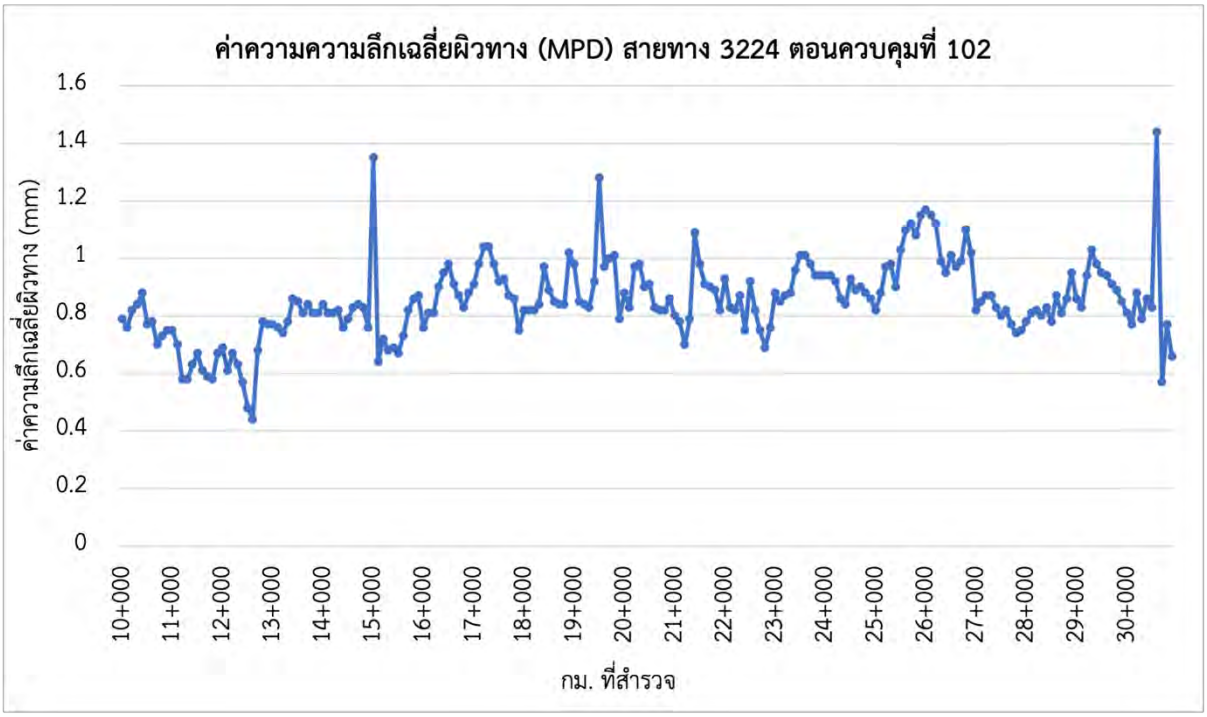
รูปที่ 3-78 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-79 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



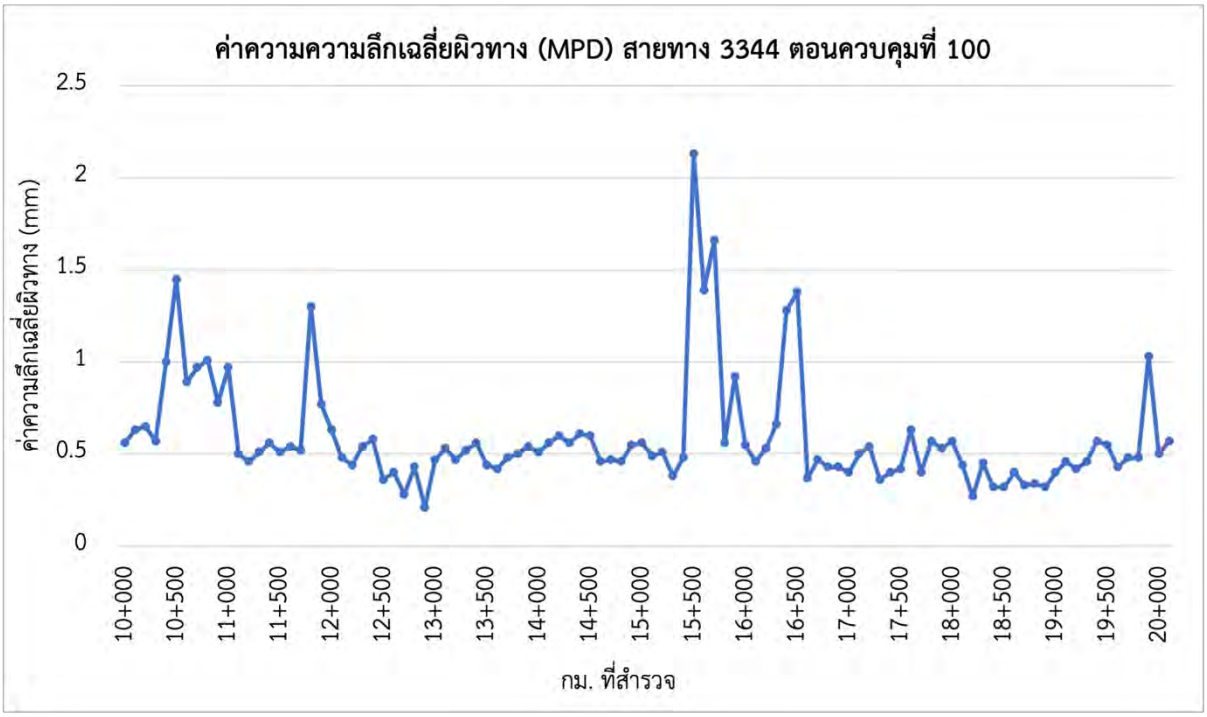
รูปที่ 3-80 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



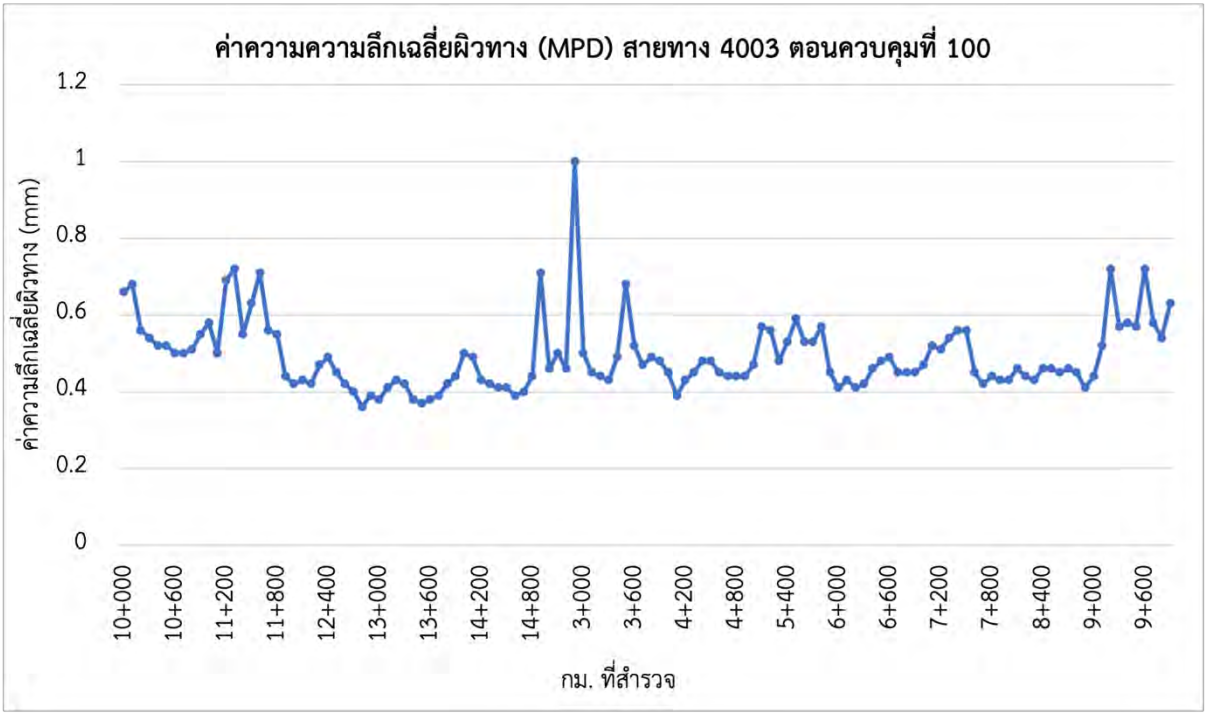
รูปที่ 3-81 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-82 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-83 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-84 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



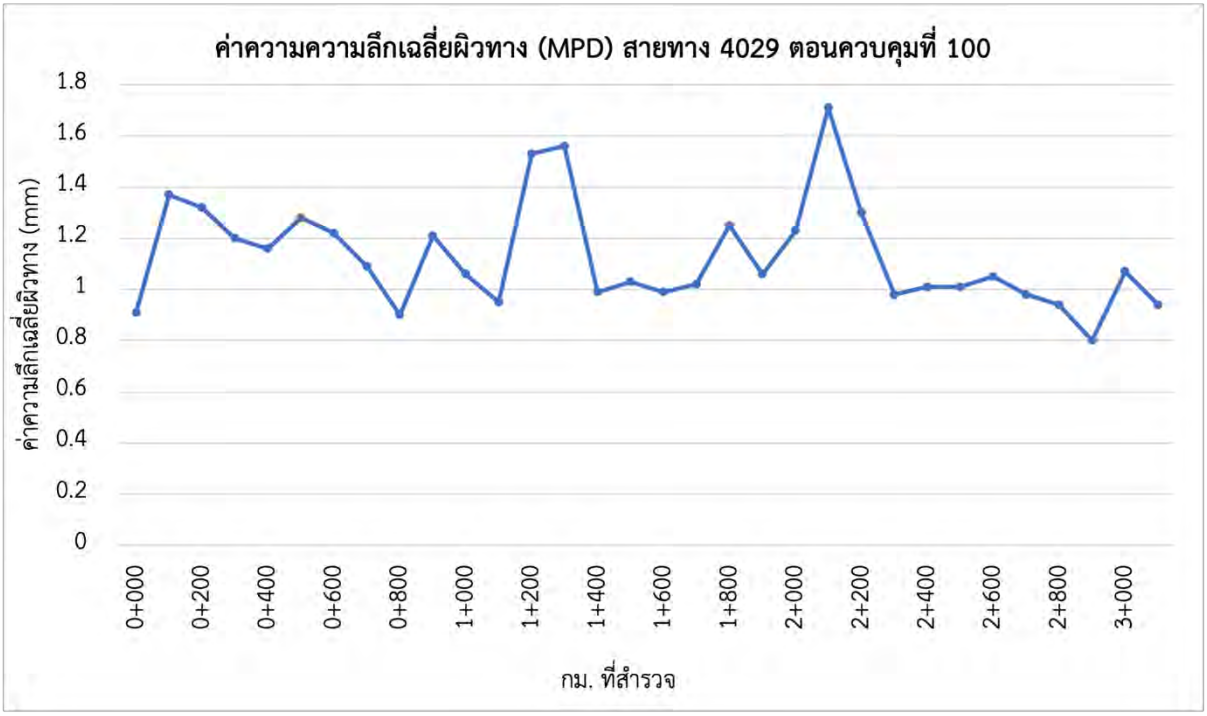
รูปที่ 3-85 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



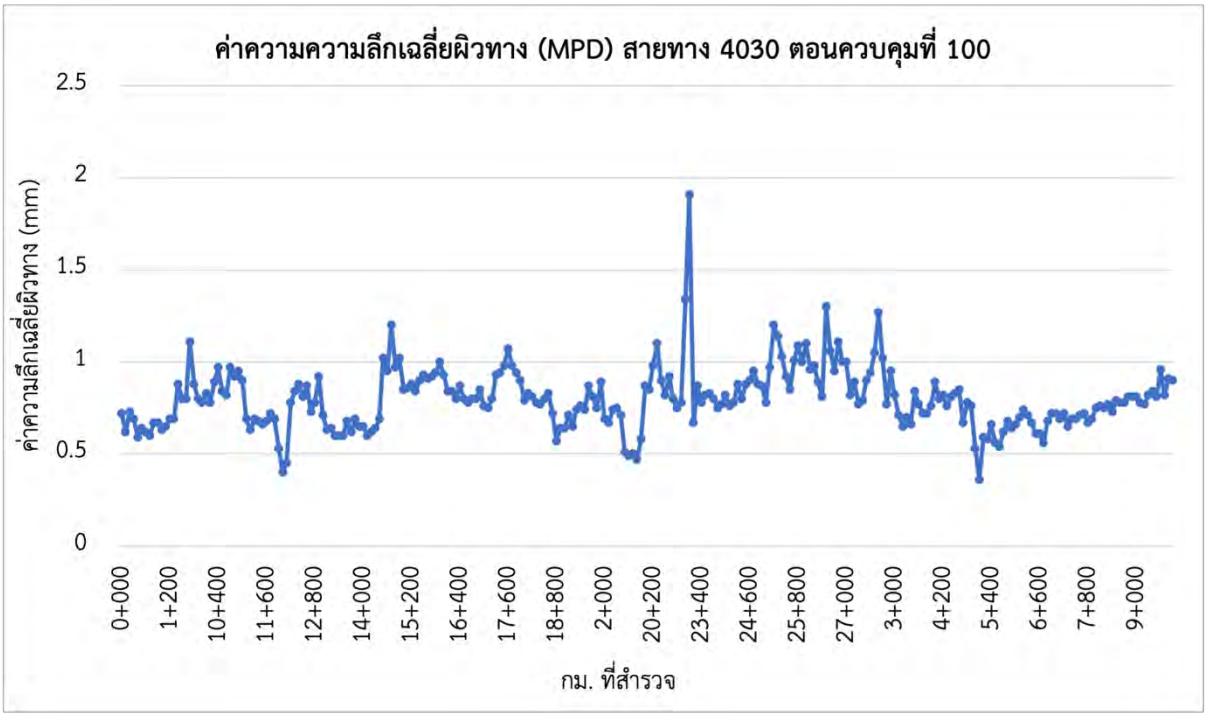
รูปที่ 3-86 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-87 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



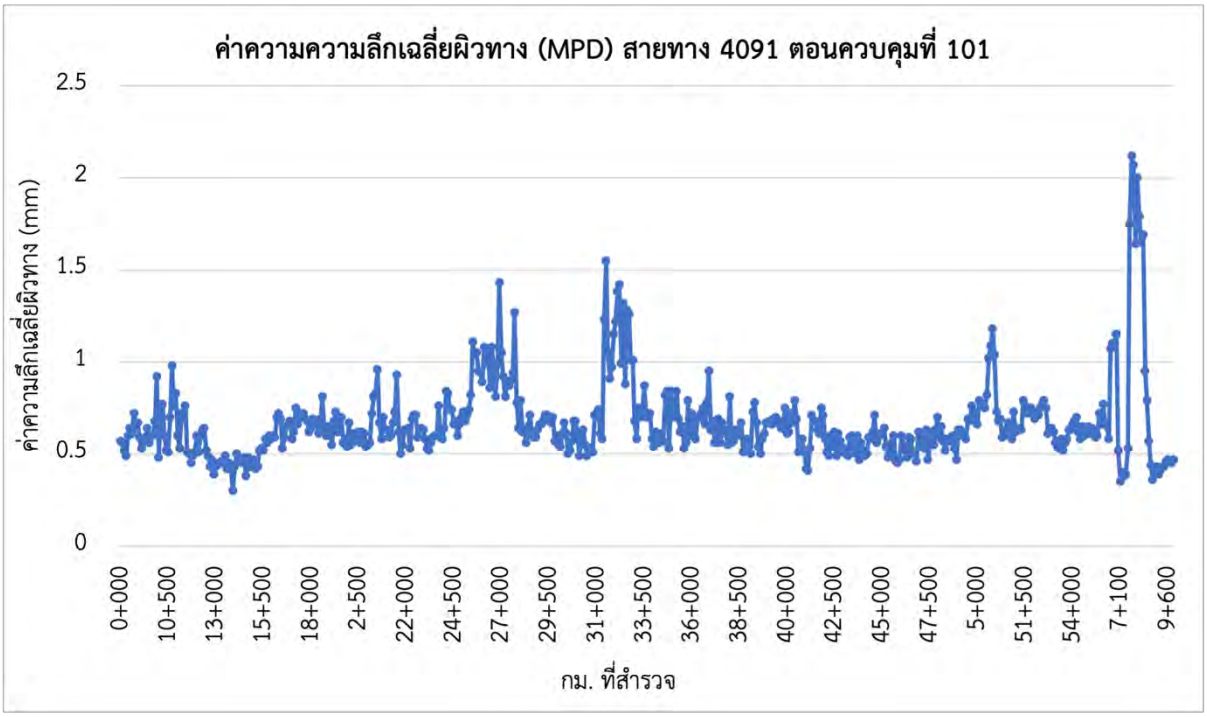
รูปที่ 3-88 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



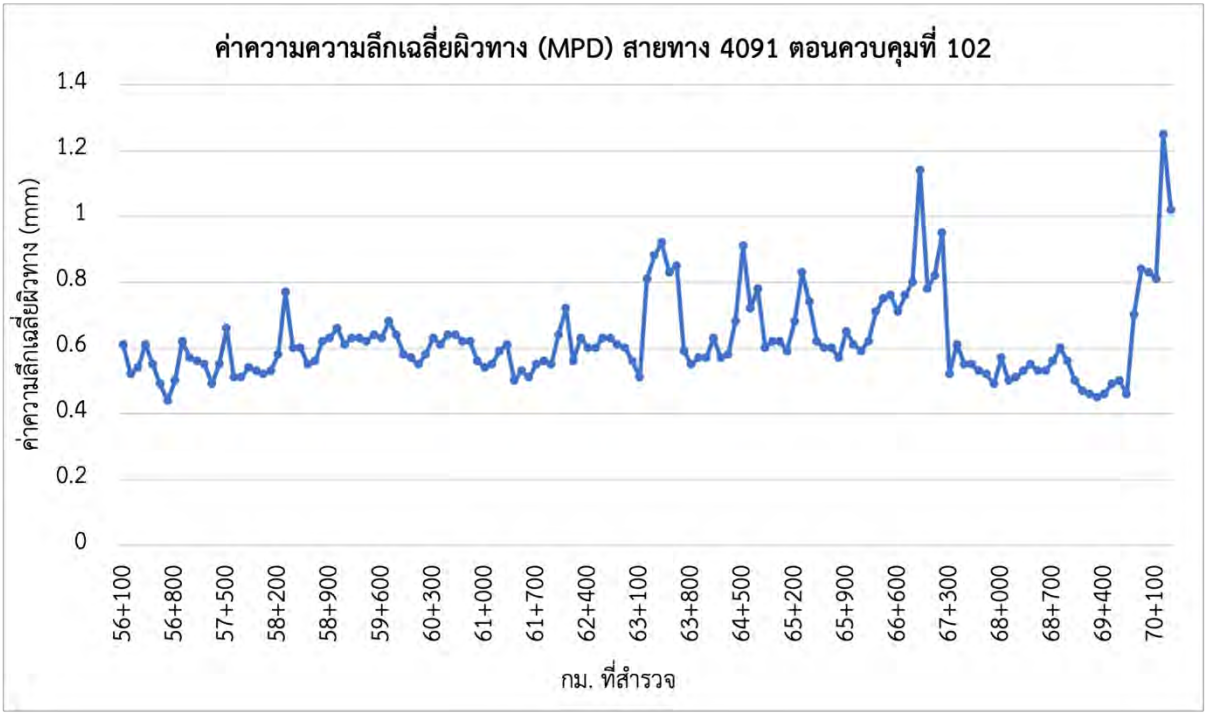
รูปที่ 3-89 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



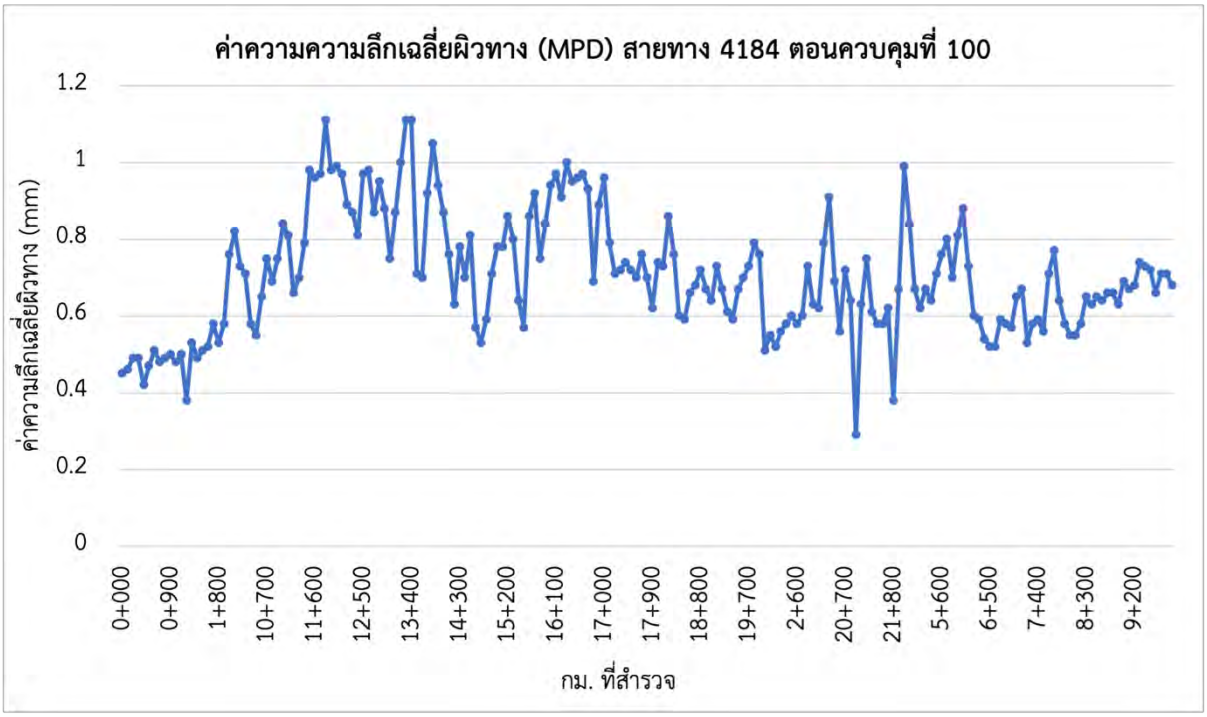
รูปที่ 3-90 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-91 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



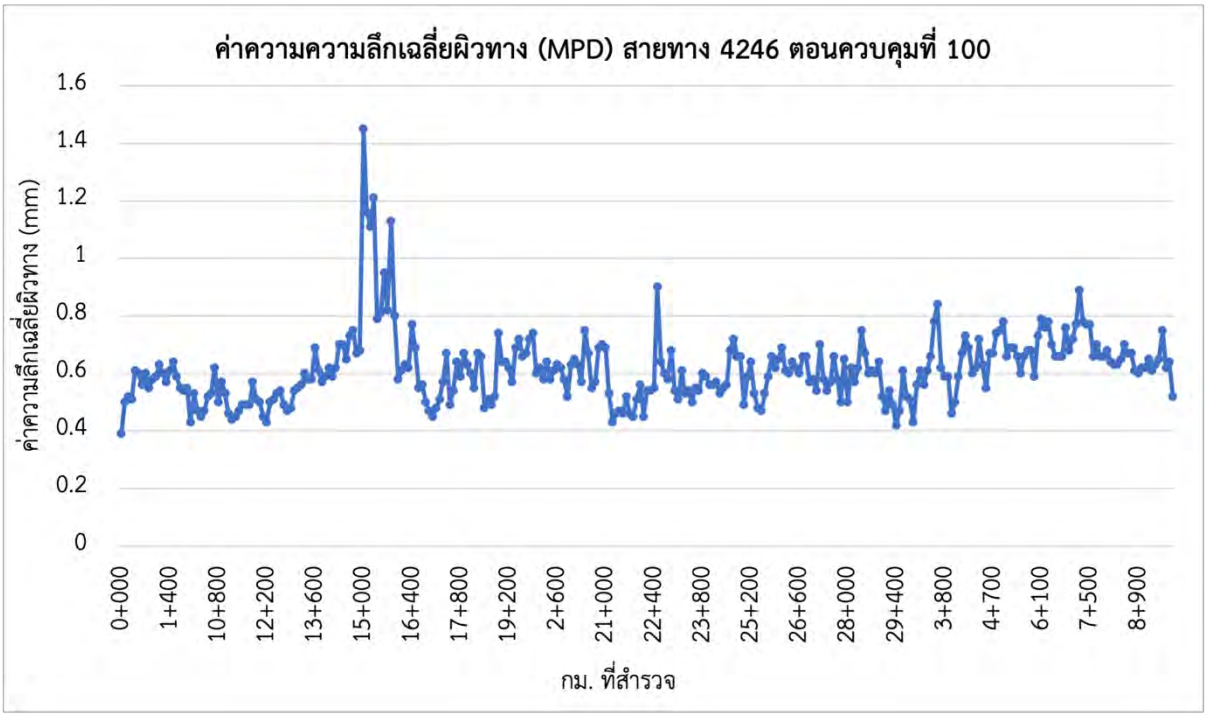
รูปที่ 3-92 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-93 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-94 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร

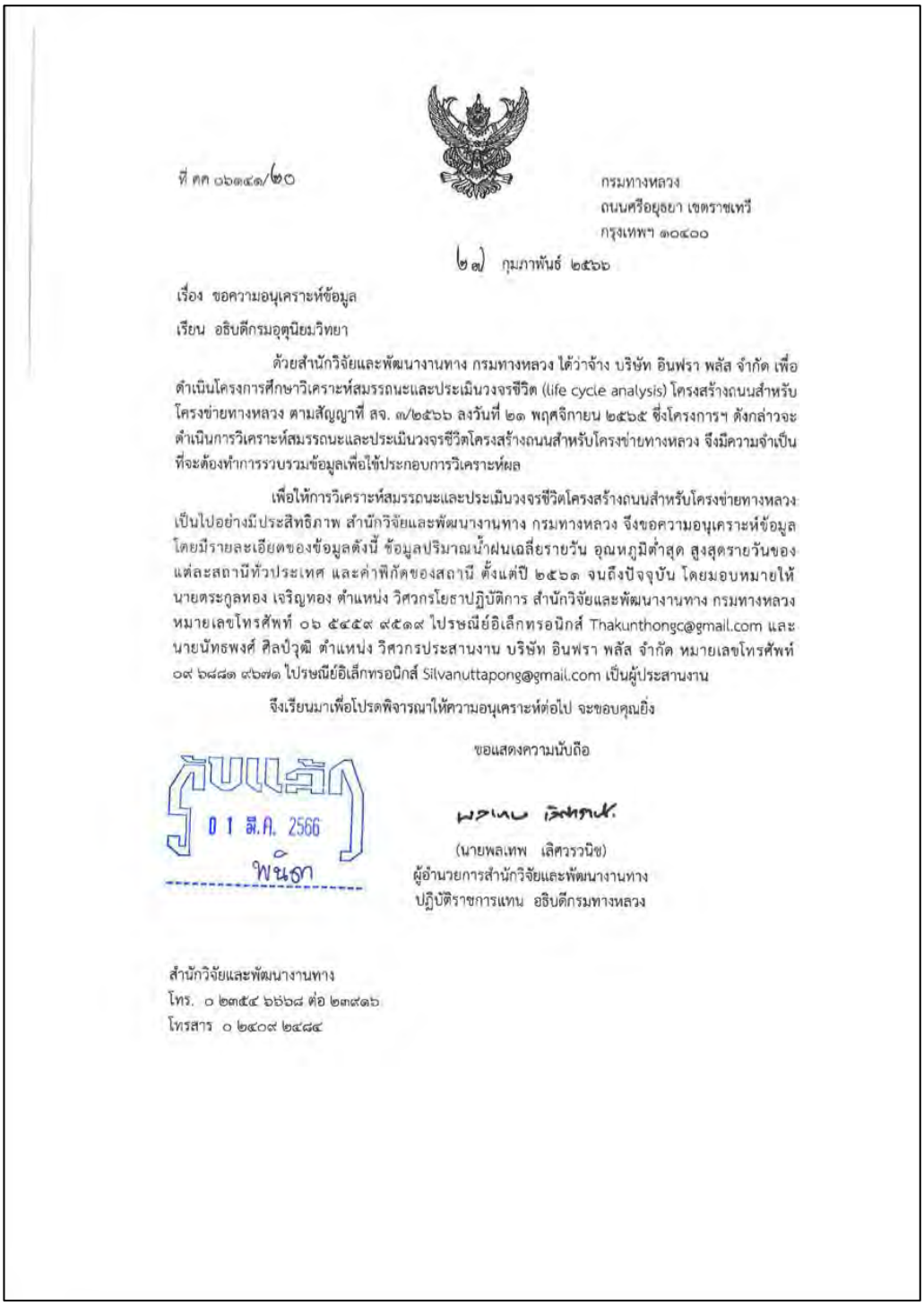


รูปที่ 3-95 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร



รูปที่ 3-96 กราฟแสดงค่า MPD ทุก 100 เมตร

3.1.4.4 เมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2566 ที่ปรึกษาได้ดำเนินการติดต่อขอข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิผ่านกรมทางหลวงไปยังกรมอุตุนิยมวิทยาดังแสดงในรูปที่ 3-97 จากการตรวจสอบปริมาณข้อมูล พบว่า ทั้งหมดเป็นข้อมูลจากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน และสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทั้งสิ้น 127 แห่ง โดยมีตำแหน่งที่ตั้งของสถานีแสดงไว้ดังรูปที่ 3-98 ทั้งนี้ปรึกษาจะนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมด้วยวิธีการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามระยะทาง (Weighted Distance) โดยสถานีที่อยู่ไกลจากจุดอ้างอิง จะมีค่าถ่วงน้ำหนักที่น้อย ในขณะที่สถานีซึ่งอยู่ใกล้กับจุดอ้างอิง จะมีค่าถ่วงน้ำหนักที่มาก สำหรับหลักการ และวิธีคำนวณโดยละเอียดจะแสดงไว้อีกครั้งในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.1.2 อีกครั้ง



ที่ คค ๐๖๐๔๑/๒๐

กรมทางหลวง
ถนนศรีอยุธยา เขตราชเทวี
กรุงเทพฯ ๑๐๔๐๐

๒๗ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๖

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ข้อมูล

เรียน อธิบดีกรมอุตุนิยมวิทยา

ด้วยสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง ได้ว่าจ้าง บริษัท อินฟรา พลัส จำกัด เพื่อดำเนินโครงการศึกษาวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิต (life cycle analysis) โครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง ตามสัญญาที่ สจ. ๗/๒๕๖๖ ลงวันที่ ๒๑ พฤศจิกายน ๒๕๖๕ ซึ่งโครงการฯ ดังกล่าวจะดำเนินการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตโครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ผล

เพื่อให้การวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตโครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง จึงขอความอนุเคราะห์ข้อมูลโดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังนี้ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวัน อุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดรายวันของแต่ละสถานีทั่วประเทศ และค่าพิกัดของสถานี ตั้งแต่ปี ๒๕๖๑ จนถึงปัจจุบัน โดยมอบหมายให้ นายตระกูลทอง เจริญทอง ตำแหน่ง วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง หมายเลขโทรศัพท์ ๐๖ ๕๔๕๙ ๙๕๑๙ ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ Thakunthongc@gmail.com และ นายนัทธพงศ์ ศิลป์วุฒิ ตำแหน่ง วิศวกรประสานงาน บริษัท อินฟรา พลัส จำกัด หมายเลขโทรศัพท์ ๐๙ ๖๘๘๑ ๙๖๗๑ ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ Silvanuttapong@gmail.com เป็นผู้ประสานงาน

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ต่อไป จะขอบคุณยิ่ง

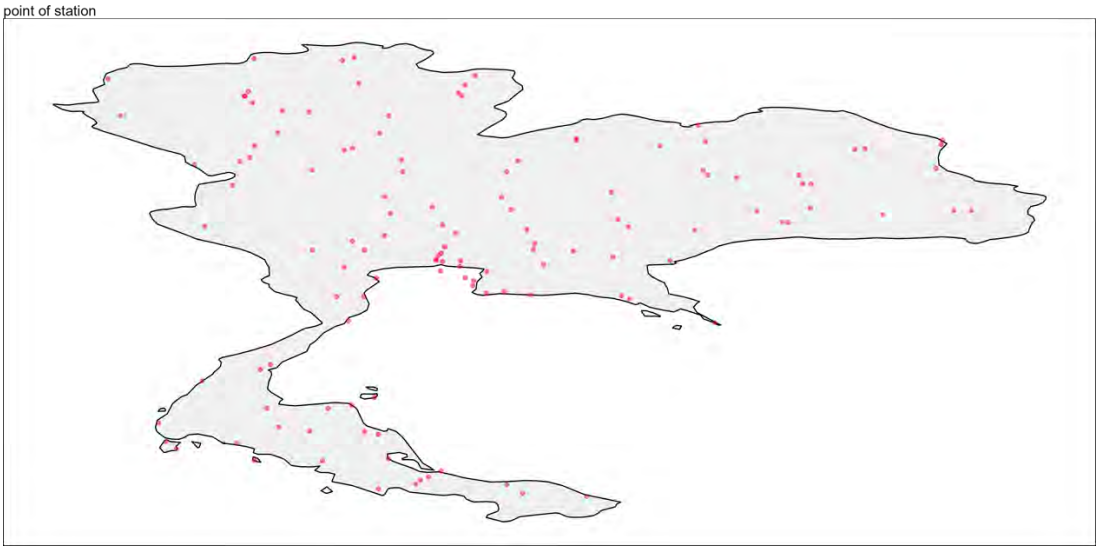
ขอแสดงความนับถือ

รับแล้ว
01 มี.ค. 2566
พันธ์

(นายพลเทพ เลิศวรวนิช)
ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง
ปฏิบัติราชการแทน อธิบดีกรมทางหลวง

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง
โทร. ๐ ๒๓๕๔ ๖๖๖๘ ต่อ ๒๓๙๑๖
โทรสาร ๐ ๒๔๐๙ ๒๔๘๔

รูปที่ 3-97 ตัวอย่างหนังสือขอความอนุเคราะห์ข้อมูลผ่านกรมทางหลวงไปยังกรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 3-98 แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน และสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา

3.2 งานตรวจสอบความถูกต้อง และสมบูรณ์ของข้อมูล

ที่ปรึกษาจะตรวจสอบความถูกต้อง และสมบูรณ์ของข้อมูลจากฐานข้อมูลในข้อ 3.2 และข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามในข้อ 3.1 เพื่อเตรียมข้อมูลลงในระบบ iPAVEs ของสำนักวิจัยและพัฒนางานทางสำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน ด้วยการตรวจสอบอย่างน้อยดังต่อไปนี้

3.2.1 ตรวจสอบความเหมาะสมของจำนวนข้อมูล

ในการวิจัยเชิงสำรวจหรือการสำรวจด้วยตัวอย่าง มักจะพบปัญหาที่ว่าควรใช้ตัวอย่างขนาดเท่าใดจึงจะเหมาะสม ถ้ามีการกำหนดขนาดตัวอย่างที่มากหรือน้อยเกินไปอาจจะส่งผลให้ผลการวิจัยไม่สมบูรณ์หรือไม่มีความถูกต้อง ในการคำนวณหาขนาดตัวอย่างมีความสำคัญเพราะถ้าได้ขนาดตัวอย่างที่มีความเหมาะสมข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างมีมากพอส่งผลให้ได้ผลการวิจัยที่มีคุณภาพและน่าเชื่อถือ โดยมีการคำนวณขนาดตัวอย่างดังต่อไปนี้

การใช้สูตร Yamane

จากการศึกษางานวิจัยพบว่าในการหาขนาดตัวอย่างส่วนใหญ่จะใช้สูตร Yamane ในการคำนวณหาขนาดตัวอย่าง เนื่องจากเป็นสูตรที่คำนวณง่ายและสะดวกในการใช้หาขนาด ซึ่งขนาดตัวอย่าง (n) คำนวณมาจากภายใต้ระดับความเชื่อมั่น 95 % และความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm$ 5 % การหาขนาดตัวอย่างสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

กรณีที่ทราบจำนวนประชากร (Yamane,1973) สูตรการคำนวณหาขนาดตัวอย่าง คือ

$$n = \frac{N}{1+Ne^2} \quad (3\text{-}1)$$

โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่าง

N คือ ขนาดกลุ่มประชากร

e คือ ระดับความแตกต่างของค่าสถิติกับค่าพารามิเตอร์ (error)

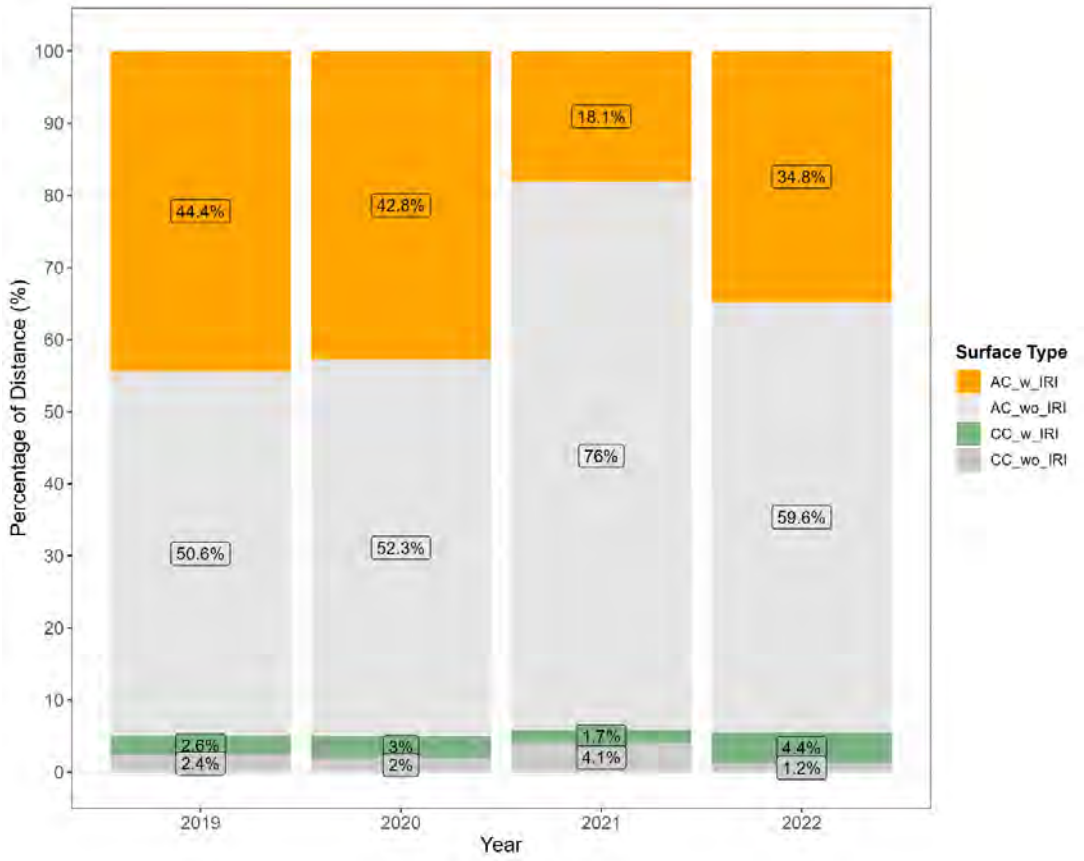
3.2.1.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของจำนวนข้อมูลในฐานข้อมูลเดิม

จากข้อมูลที่มีในฐานข้อมูลมีสายทางทั้งหมด 1,528 สายทาง และจำนวนตอนควบคุมทั้งหมด 3,023 ตอนควบคุม โดยแบ่งเป็นฝั่งซ้ายทาง ที่มีผิวทางลาดยางทั้งหมด 2,482 ตอนควบคุม และผิวทางคอนกรีตทั้งหมด 1,005 ตอนควบคุม ฝั่งขวาทาง ที่มีผิวทางลาดยางทั้งหมด 2,159 ตอนควบคุม และผิวทางคอนกรีตทั้งหมด 975 ตอน ซึ่งบางตอนควบคุมมีผิวทางทั้งสองชนิด ที่ปรึกษาดำเนินการตรวจสอบความเหมาะสมของจำนวนข้อมูลตอนควบคุมที่จะนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง โดยทำการแบ่งตอนควบคุมเป็นทุก ๆ ระยะ 100 เมตร ซึ่งจะทำให้มีจำนวนตอนควบคุมย่อยทั้งหมดเท่ากับ 1,055,798 ตอนควบคุมย่อย หรือเท่ากับ 105,579.8 กิโลเมตรของทั้งฝั่งทิศทางจราจร

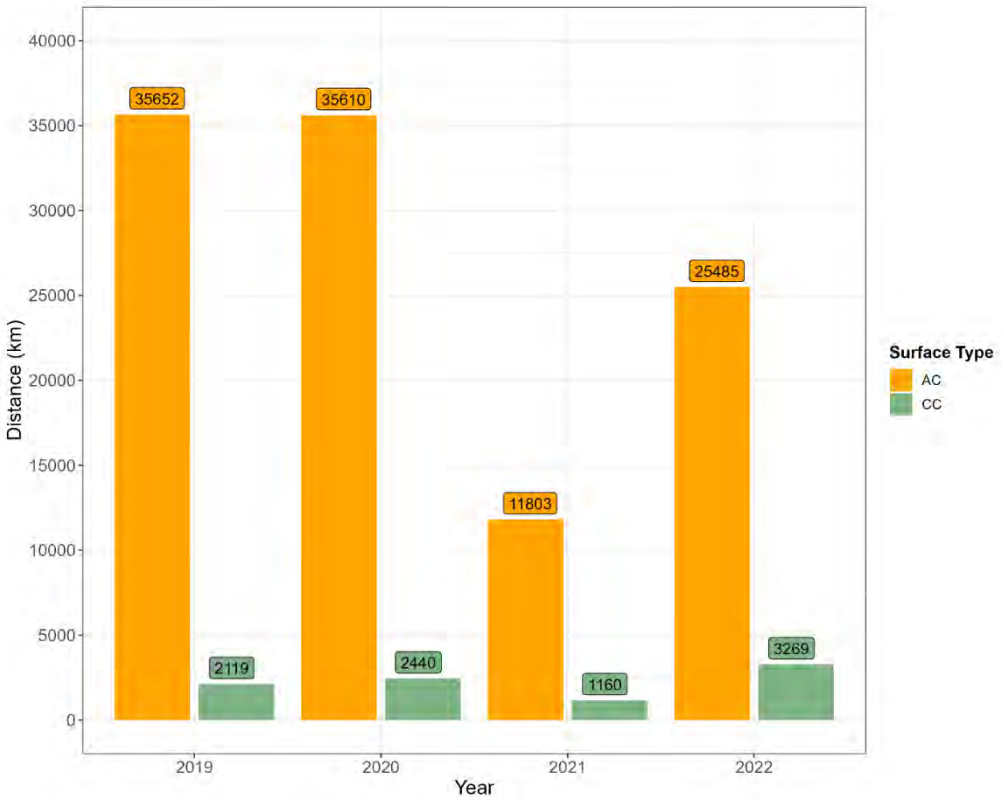
ซึ่งที่ปรึกษาได้ทำการตรวจสอบความเหมาะสมของจำนวนข้อมูลทั้งหมด 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความเรียบของถนน (IRI) ความแข็งแรงของถนน (SCI) ความเสียหายของถนน (Road Distress) และความต้านทานการลื่นไถลของถนน (IFI) โดยตรวจสอบจำนวนตอนควบคุมย่อยในแต่ละปี ดังต่อไปนี้

- **ความเรียบของถนน (IRI)**

  จากข้อมูลในฐานข้อมูลตอนควบคุมที่มีค่า IRI อย่างน้อย 1 ปี มีทั้งหมด 2,838 ตอนควบคุม และมีสายทางทั้งหมด 1,432 สายทาง ซึ่งในฐานข้อมูลจะมีข้อมูลทั้งหมด 10 ปี ได้แก่ ปี 2007, 2010-2012, 2014-2015 และ 2019-2022 ซึ่งในปีที่ต่ำกว่า 2019 จะไม่มีข้อมูลประเภทของผิวทางอยู่ในฐานข้อมูล ดังนั้นที่ปรึกษาจึงไม่ได้นำข้อมูลในปีดังกล่าวมาวิเคราะห์ร่วมด้วย โดยแสดงรายละเอียดสัดส่วนระยะทางทั้งหมด ในแต่ละประเภทผิวทางและแบ่งตามจำนวนปี แสดงดังรูปที่ 3-99 และแสดงปริมาณระยะทางทั้งหมดในแต่ละปีแสดงดังรูปที่ 3-100



รูปที่ 3-99 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในฐานข้อมูลโดยแบ่งตามประเภทผิวทางที่มีและไม่มีข้อมูล IRI

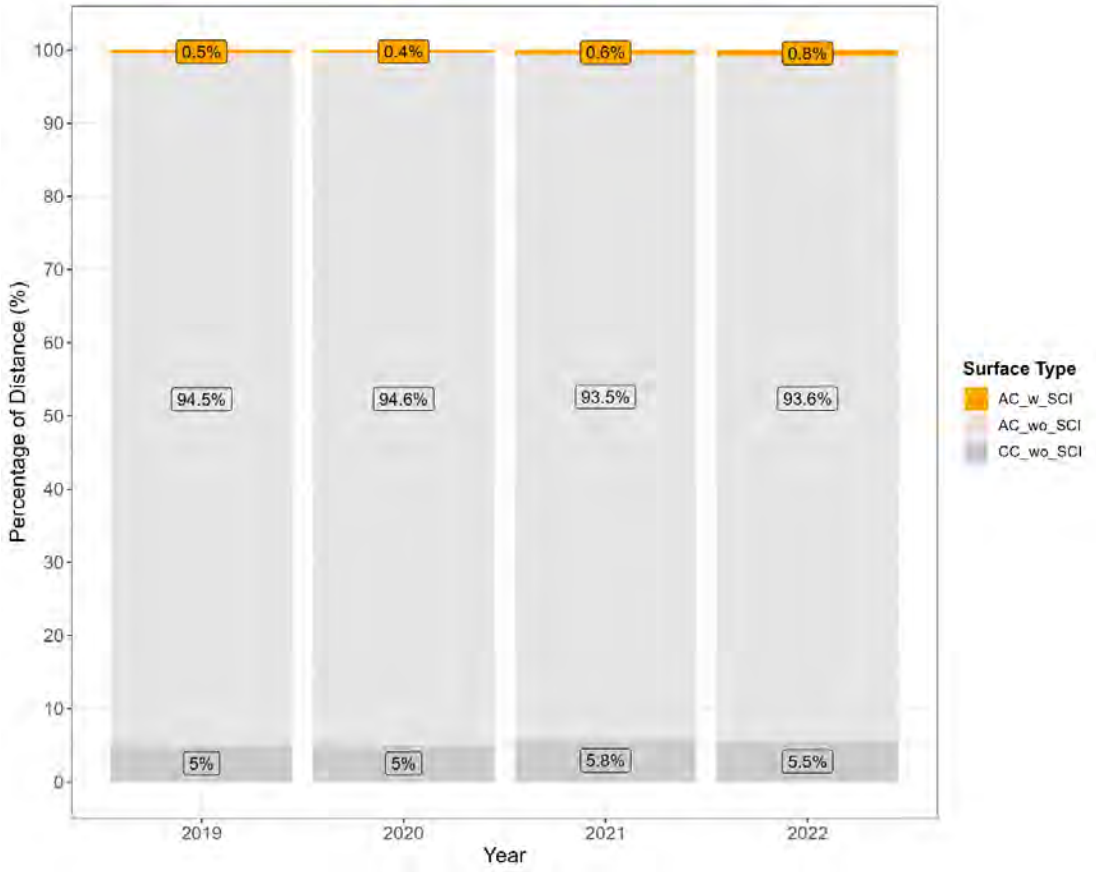


รูปที่ 3-100 ระยะทางทั้งหมดในแต่ละปีที่มีข้อมูล IRI แบ่งตามประเภทผิวทาง

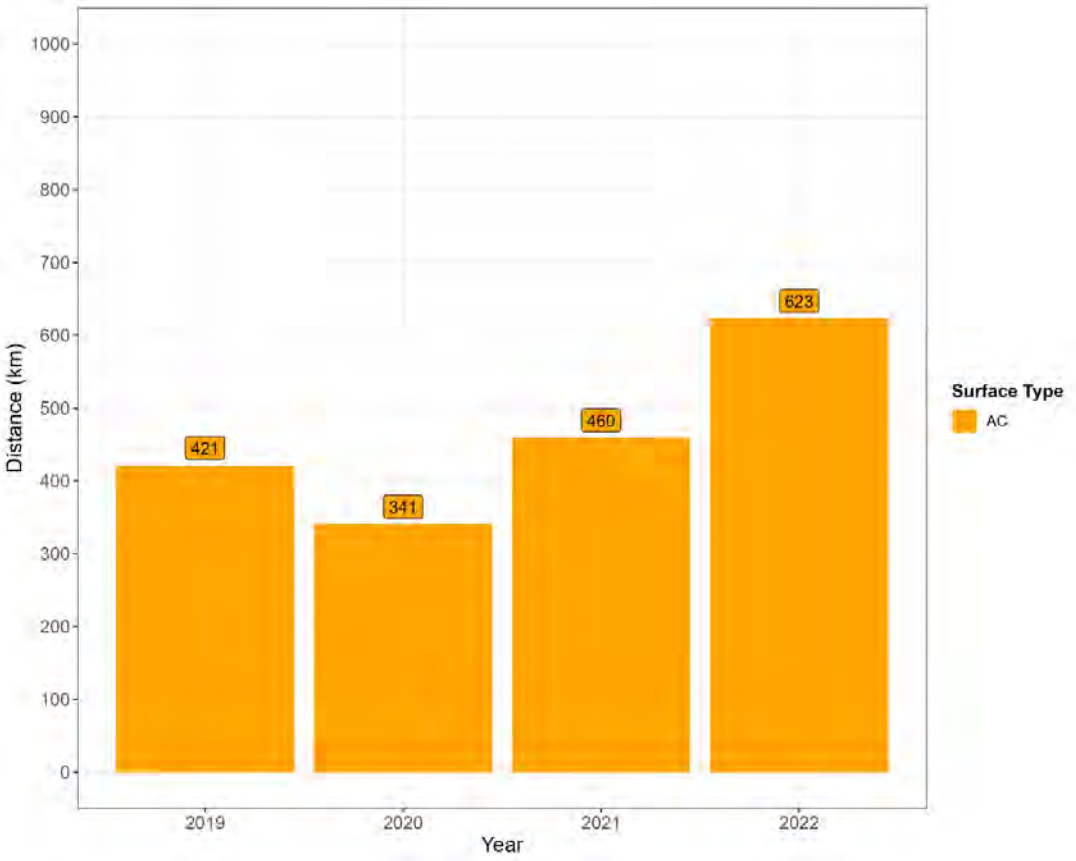
จากรูปที่ 3-99 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดที่มีค่า IRI ในผิวทางลาดยางคิดเป็นร้อยละ 18.1 - 44.4 ของข้อมูลระยะทางทั้งหมดในแต่ละปี และในผิวทางคอนกรีตคิดเป็นร้อยละ 1.7 - 4.5 ของข้อมูลระยะทางทั้งหมดในแต่ละปี และจากรูปที่ 3-100 ระยะทางทั้งหมดที่มีข้อมูล IRI ของผิวลาดยางอยู่ที่ 11,803 - 35,652 กิโลเมตรและในผิวทางคอนกรีตอยู่ที่ 1,160 - 3,269 กิโลเมตร จะเห็นได้ว่าจากข้อมูลทั้งหมด 4 ปี ข้อมูล IRI ในปี 2021 จะมีปริมาณข้อมูลน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับปีอื่น ๆ

- **ความแข็งแรงของถนน (SCI)**

  เนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้คำนวณ SCI มีหลายตัวแปร และจากการตรวจสอบถ้าข้อมูลตัวแปรใดมีข้อมูล ตัวแปรอื่นจะมีข้อมูลเช่นกัน ดังนั้นจากข้อมูลที่สามารถนำมาคำนวณค่า SCI ในหัวข้อนี้ที่ปรึกษาได้เลือกค่า Deflection มาใช้ในการตรวจสอบความเหมาะสมของจำนวนข้อมูล โดยในฐานข้อมูลตอนควบคุมที่มีค่า Deflection ที่สามารถนำมาคำนวณค่า SCI ได้อย่างน้อย 1 ปีมีทั้งหมด 150 ตอนควบคุม และมีสายทางทั้งหมด 61 สายทาง ซึ่งในฐานข้อมูลจะมีข้อมูลทั้งหมด 4 ปี ได้แก่ 2019 - 2022 โดยแสดงรายละเอียดสัดส่วนระยะทางทั้งหมด ในแต่ละประเภทผิวทางและแบ่งตามจำนวนปีแสดงดังรูปที่ 3-101 และแสดงปริมาณระยะทางทั้งหมดในแต่ละปี แสดงดังรูปที่ 3-102



รูปที่ 3-101 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในฐานข้อมูลโดยแบ่งตามประเภทผิวทาง ที่มีและไม่มีข้อมูล Deflection

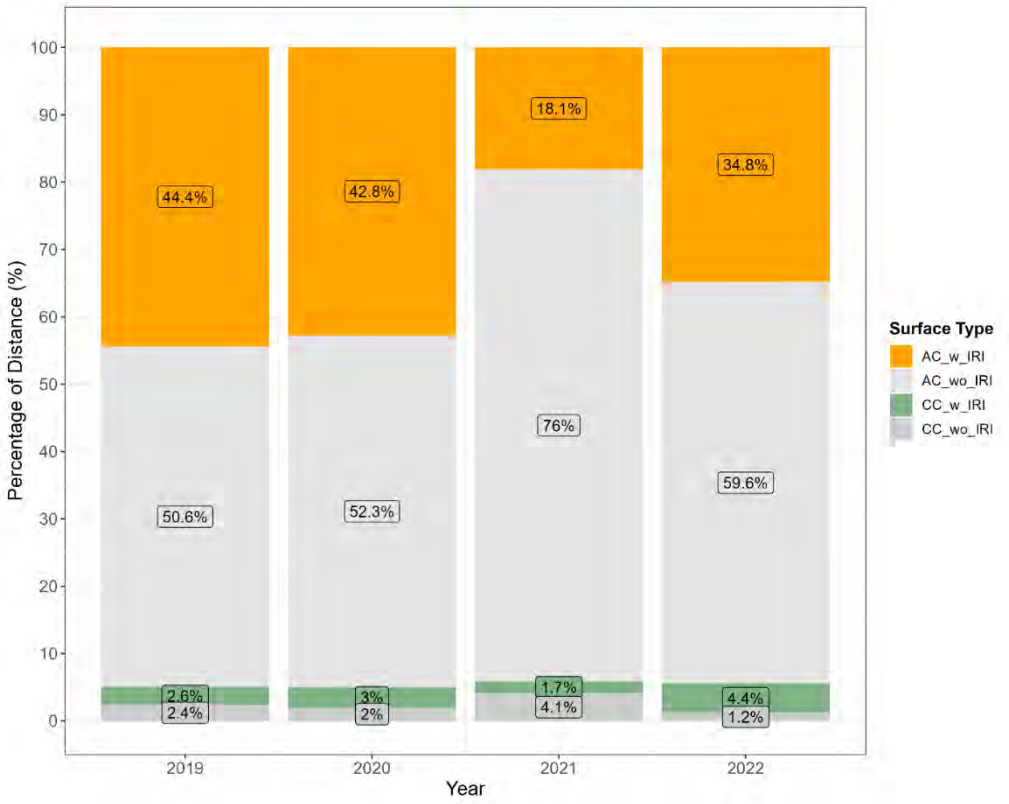


รูปที่ 3-102 ระยะทางทั้งหมดในแต่ละปีที่มีข้อมูล Deflection ประเภทผิวทางลาดยาง

จากรูปที่ 3-101 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดที่มีค่า Deflection ในผิวทางลาดยางมีข้อมูลค่อนข้างน้อยโดยคิดเป็นร้อยละ 0.4 - 0.8 ของข้อมูลระยะทางทั้งหมดในแต่ละปี และไม่มีข้อมูลในผิวทางประเภทคอนกรีต และจากรูปที่ 3-102 ระยะทางทั้งหมดที่มีข้อมูล Deflection ของผิวลาดยางอยู่ที่ 341 - 623 กิโลเมตร ซึ่งถือว่ามีระยะทางค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพารามิเตอร์อื่น ๆ ซึ่งอาจส่งผลต่อความแม่นยำในการสร้างแบบจำลอง

- **ความเสียหายของถนน (Road Distress)**

จากข้อมูลความเสียหายของถนนในฐานข้อมูลอย่างน้อย 1 ปีมีทั้งหมดมีทั้งหมด 2,838 ตอนควบคุม และมีสายทางทั้งหมด 1,432 สายทาง ประเภทความเสียหายจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามชนิดผิวทาง ได้แก่ ผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีต ซึ่งในฐานข้อมูลจะมีข้อมูลทั้งหมด 4 ปี ได้แก่ 2019 ถึง 2022 โดยแสดงรายละเอียดสัดส่วนระยะทางทั้งหมด ในแต่ละประเภทผิวทางและแบ่งตามจำนวนปีแสดงดังรูปที่ 3-103 และแสดงปริมาณระยะทางทั้งหมดในแต่ละปีของผิวทางลาดยางแสดงดังรูปที่ 3-104 และผิวทางคอนกรีต แสดงดังรูปที่ 3-105 โดยมีรายละเอียดความเสียหายแต่ละประเภทแสดงดังตารางที่ 3-14

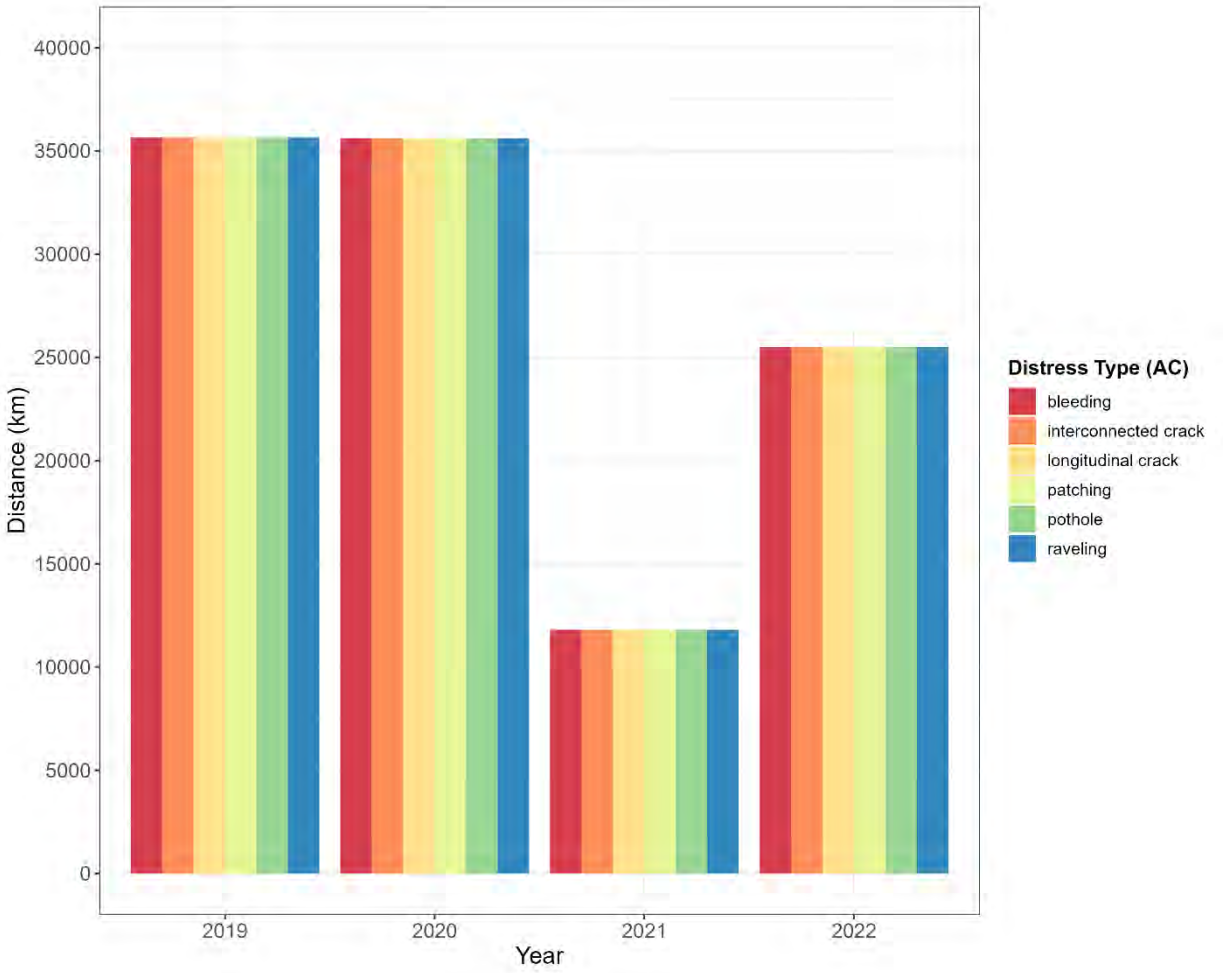


รูปที่ 3-103 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในฐานข้อมูลโดยแบ่งตามประเภทผิวทางที่มีและไม่มีข้อมูลความเสียหายของถนน

จากรูปที่ 3-103 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดที่มีข้อมูลความเสียหายของถนนในผิวทางลาดยางคิดเป็นร้อยละ 18.1 - 44.4 ของข้อมูลระยะทางทั้งหมดในแต่ละปี และในผิวทางคอนกรีตคิดเป็นร้อยละ 1.7 - 4.5 ของข้อมูลระยะทางทั้งหมดในแต่ละปี

ตารางที่ 3-14 ชนิดความเสียหายของผิวทางถนนในฐานข้อมูล

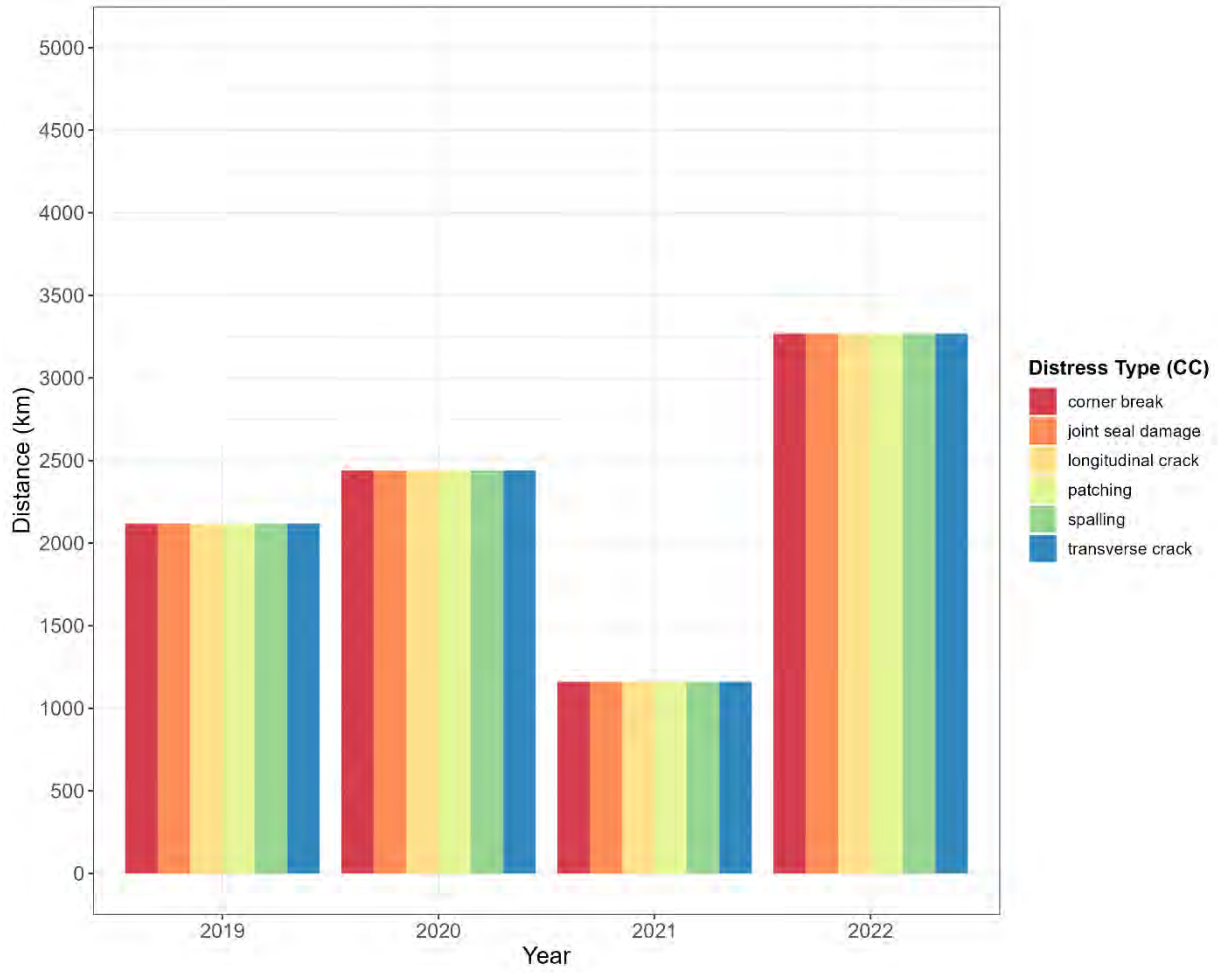
ชนิดของผิวทาง	ตัวแปรชื่อความเสียหาย	คำอธิบาย	หน่วย
ผิวทางลาดยาง	bleeding	การเยิ้ม	ตารางเมตร/กิโลเมตร
	Interconnected crack	รอยแตกต่อเนื่อง	ตารางเมตร/กิโลเมตร
	patching	รอยปะซ่อม	ตารางเมตร/กิโลเมตร
	pothole	หลุมบ่อ	ตารางเมตร/กิโลเมตร
	raveling	การหลุดร่อน	ตารางเมตร/กิโลเมตร
	longitudinal crack	รอยแตกไม่ต่อเนื่อง	เมตร/กิโลเมตร
ผิวทางคอนกรีต	corner break	รอยแตกที่มุม	จำนวน/กิโลเมตร
	joint seal damage	วัสดุยาแนวรอยต่อเสียหาย	เสียหาย/ไม่เสียหาย
	longitudinal crack	รอยแตกตามยาว	จำนวนแผ่น/กิโลเมตร
	patching	รอยปะซ่อม	ตารางเมตร/กิโลเมตร
	spalling	รอยบิ่นกะเทาะ	ร้อยละของการบิ่นที่รอยต่อตามแนวขวาง
	transverse crack	รอยแตกตามขวาง	จำนวนแผ่น/กิโลเมตร



หมายเหตุ : ระยะทางที่แสดงในกราฟหมายถึงระยะทางของตอนควบคุมที่มีข้อมูลความเสียหาย

รูปที่ 3-104 ระยะทางทั้งหมดในแต่ละปีที่มีข้อมูลความเสียหายของถนน ประเภทผิวทางลาดยาง

จากรูปที่ 3-104 ความเสียหายของถนนประเภทผิวทางลาดยาง จะเห็นได้ว่าในปี 2019 และ 2020 จะมีข้อมูลความเสียหายมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ 35,610 - 35,652 กิโลเมตร ตามด้วยปี 2022 ที่ข้อมูลความเสียหายอยู่ที่ประมาณ 25,485 กิโลเมตร และปีที่มีข้อมูลน้อยที่สุดได้แก่ปี 2021 ที่มีปริมาณข้อมูลความเสียหายอยู่ที่ประมาณ 11,803 กิโลเมตร



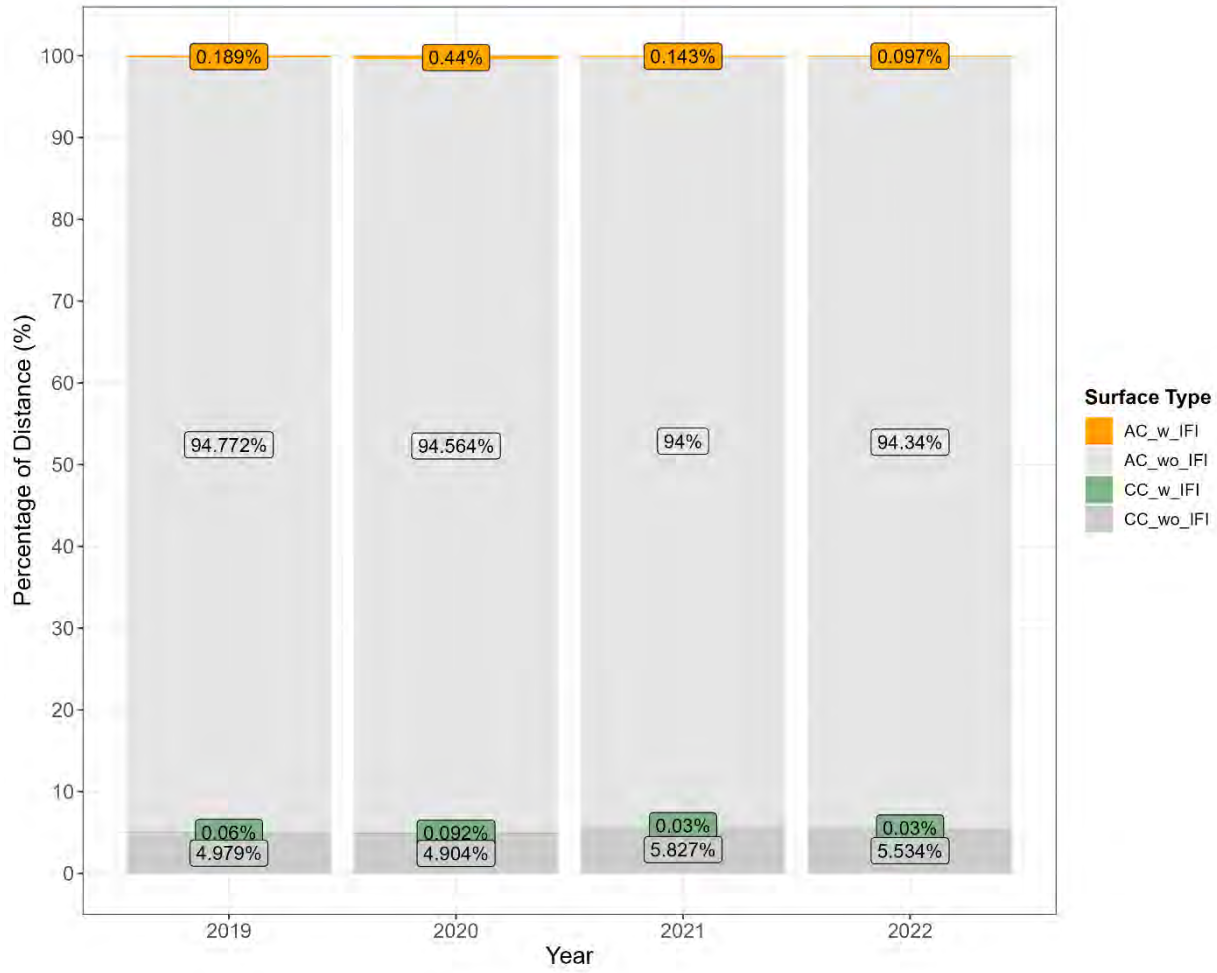
หมายเหตุ : ระยะทางที่แสดงในกราฟหมายถึงระยะทางของตอนควบคุมที่มีข้อมูลความเสียหาย

รูปที่ 3-105 ระยะทางทั้งหมดในแต่ละปีที่มีข้อมูลความเสียหายของถนน ประเภทผิวทางคอนกรีต

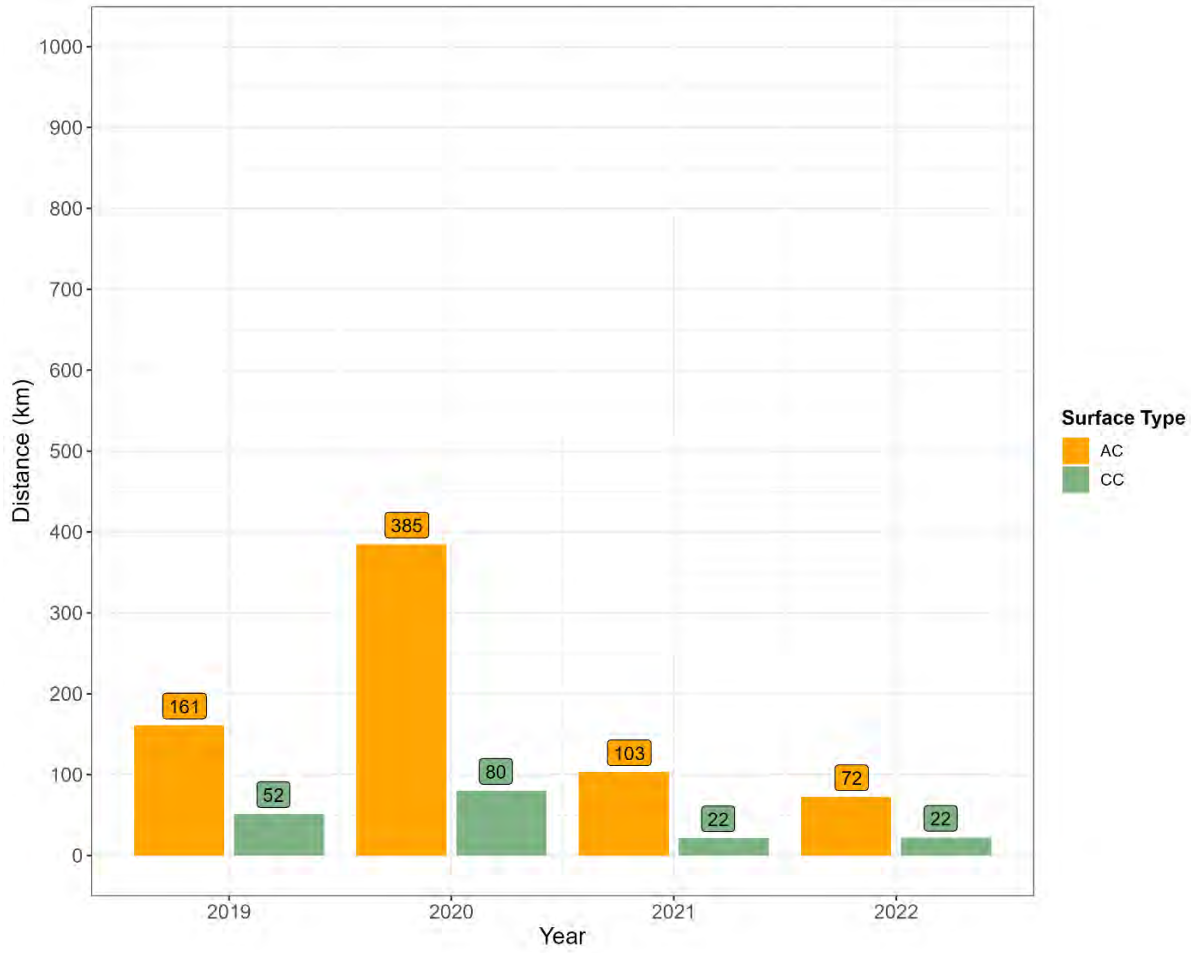
จากรูปที่ 3-105 ความเสียหายของถนนประเภทผิวทางคอนกรีต จะเห็นได้ว่าในปี 2022 จะมีข้อมูลความเสียหายมากที่สุดเมื่อเทียบกับปีอื่น ๆ โดยมีจำนวนข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 3,269 กิโลเมตร ตามด้วยปี 2020 ที่ข้อมูลความเสียหายอยู่ที่ประมาณ 2,440 กิโลเมตร ปี 2019 ที่ระยะทางประมาณ 2,119 กิโลเมตร และปีที่มีข้อมูลน้อยที่สุดได้แก่ปี 2021 ที่มีปริมาณข้อมูลความเสียหายอยู่ที่ประมาณ 1,160 กิโลเมตร

- **ความต้านทานการลื่นไถล (IFI)**

จากข้อมูล IFI ในฐานข้อมูล ตอนควบคุมที่มีค่า IFI อย่างน้อย 1 ปีมี 107 ตอนควบคุม และมีสายทางทั้งหมด 60 สายทาง ซึ่งในฐานข้อมูลจะมีข้อมูลทั้งหมด 10 ปี ได้แก่ ปี 2007, 2010 - 2012, 2014 - 2015 และ 2019 - 2022 ซึ่งในปีที่ต่ำกว่า 2019 จะไม่มีข้อมูลประเภทของผิวทางอยู่ในฐานข้อมูล ดังนั้นที่ปรึกษาจึงไม่ได้นำข้อมูลในปีดังกล่าวมาวิเคราะห์ร่วมด้วย โดยแสดงรายละเอียดสัดส่วนระยะทางทั้งหมด ในแต่ละประเภทผิวทางและแบ่งตามจำนวนปีแสดงดังรูปที่ 3-106 และแสดงปริมาณระยะทางทั้งหมดในแต่ละปี แสดงดังรูปที่ 3-107



รูปที่ 3-106 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในฐานข้อมูลโดยแบ่งตามประเภทผิวทาง ที่มีและไม่มีข้อมูล IFI



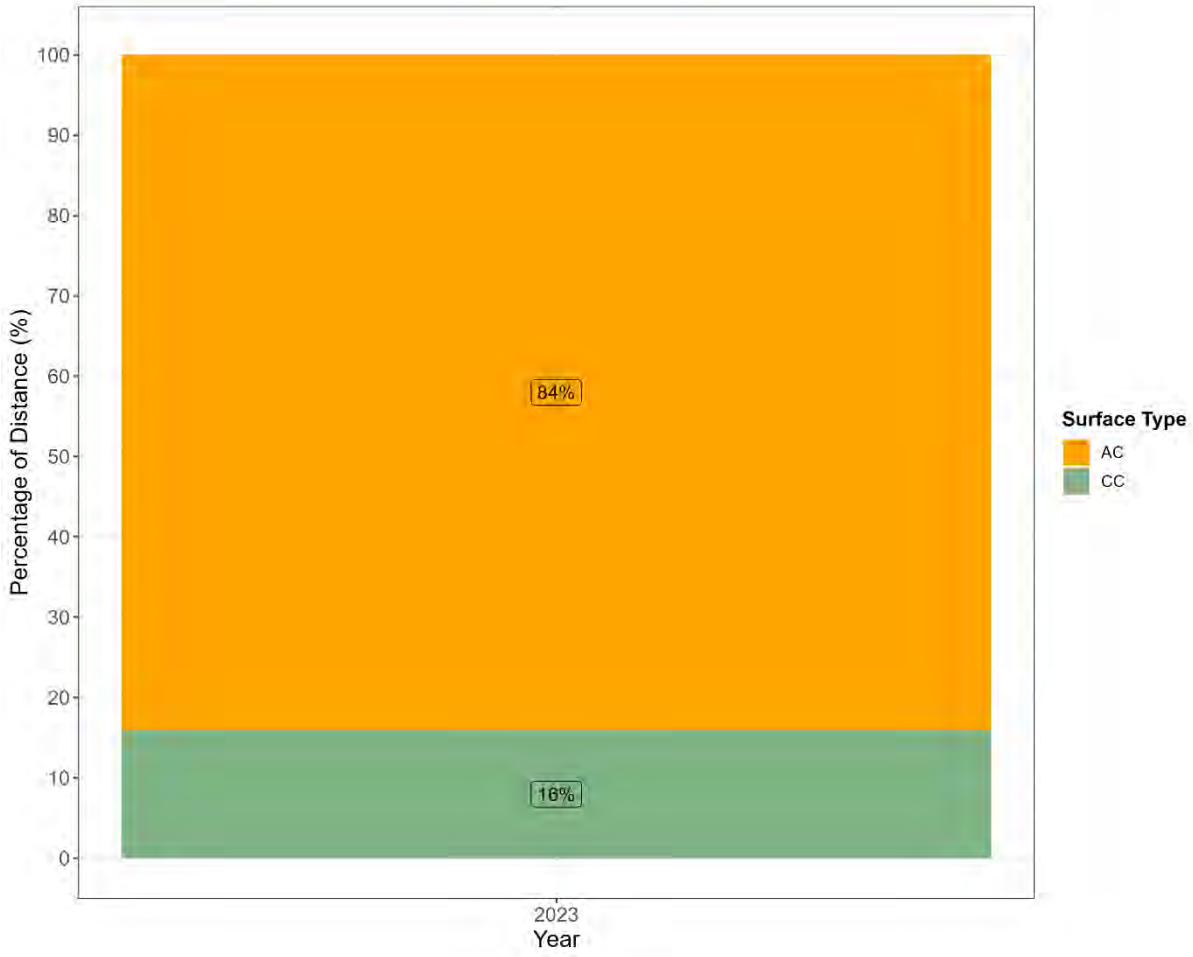
รูปที่ 3-107 ระยะทางทั้งหมดในแต่ละปีที่มีข้อมูล IFI แบ่งตามประเภทผิวทาง

จากรูปที่ 3-106 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดที่มีค่า IFI ในผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตมีข้อมูลค่อนข้างน้อยโดยคิดเป็นร้อยละ 0.1 - 0.4 ของข้อมูลระยะทางทั้งหมดในแต่ละปี และจากรูปที่ 3-107 ระยะทางทั้งหมดที่มีข้อมูล IFI ของผิวลาดยางอยู่ที่ 72 - 385 กิโลเมตร และในผิวทางคอนกรีตมีระยะทางเพียงแค่ 22 - 80 กิโลเมตรซึ่งถือว่ามีระยะทางค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพารามิเตอร์อื่น ๆ ซึ่งอาจส่งผลต่อความแม่นยำในการสร้างแบบจำลอง

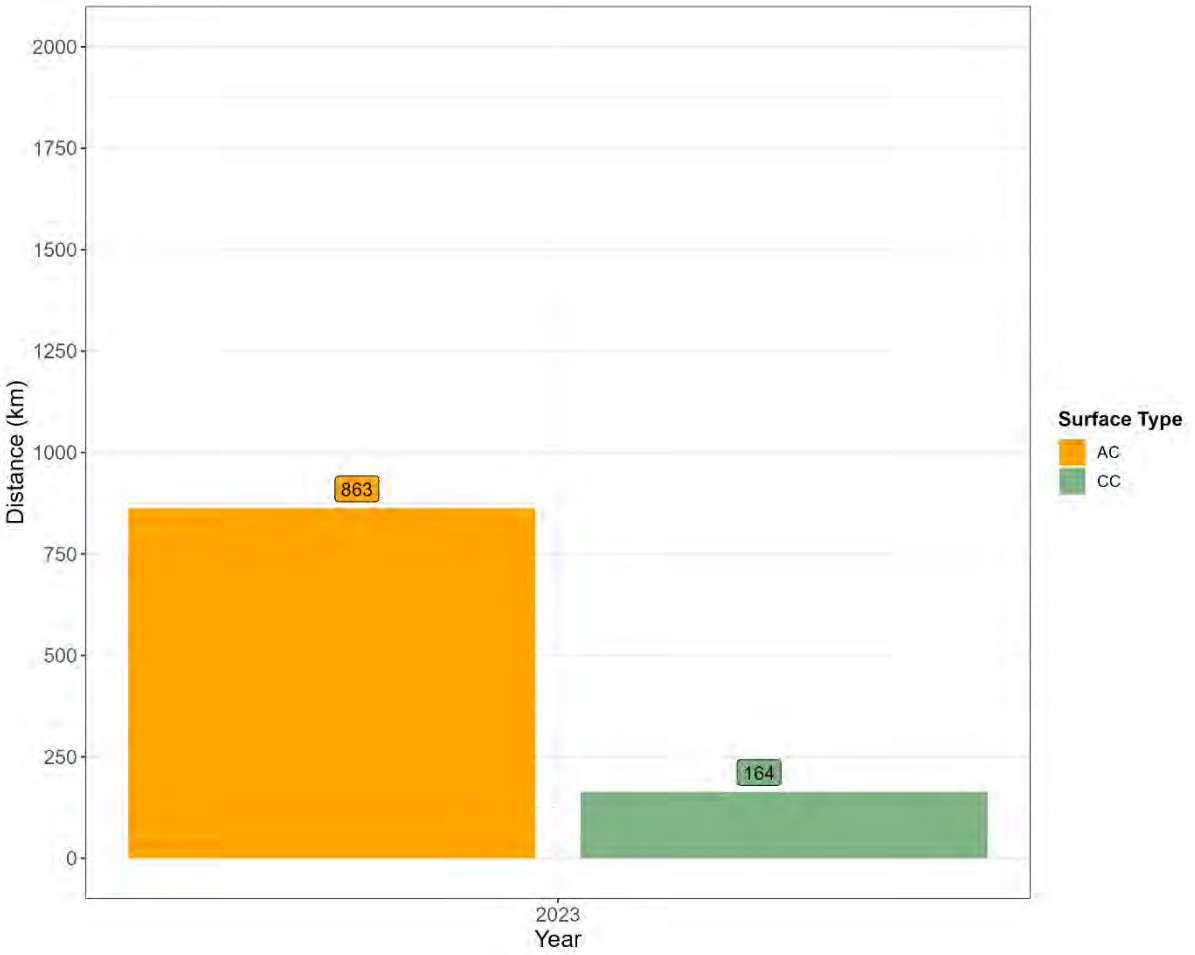
3.2.1.2 การตรวจสอบความเหมาะสมของจำนวนข้อมูลของข้อมูลสำรวจ

- **ความเสียหายของถนน (Road Distress)**

จากการสำรวจความเสียหาย ด้วยเครื่องมือ LCMS และ Pavement Camera ระยะทาง 1027 กิโลเมตร จำนวน 36 สายทาง ที่ปรึกษาได้ตรวจสอบพบว่าเป็นผิวลาดยาง (AC) คิดเป็น 84% ส่วนผิวคอนกรีต (CC) คิดเป็น 16% แสดงดังรูปที่ 3-108 ในส่วนของระยะทางสำรวจนั้น เป็นผิวทางลาดยาง 863 กิโลเมตร ส่วนผิวทางคอนกรีต 164 กิโลเมตร รวมเป็น 1,027 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 3-109



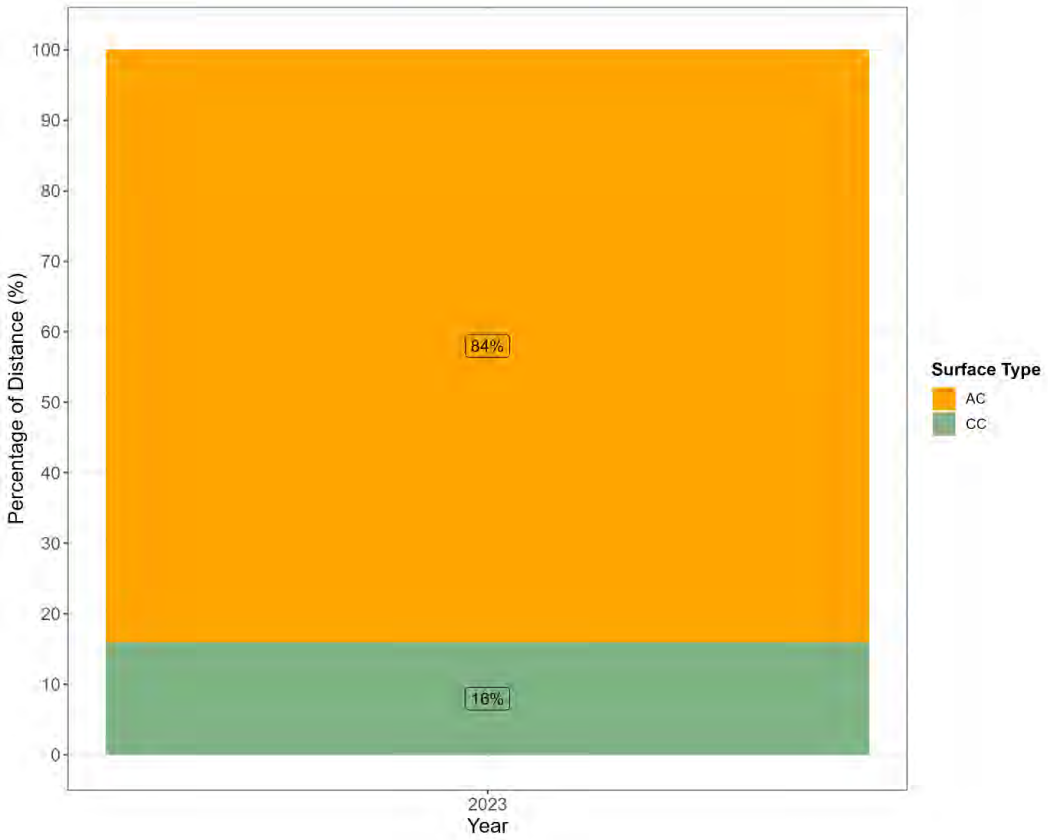
รูปที่ 3-108 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในการสำรวจความเรียบของถนน (IRI) โดยแบ่งตามประเภทผิวทาง



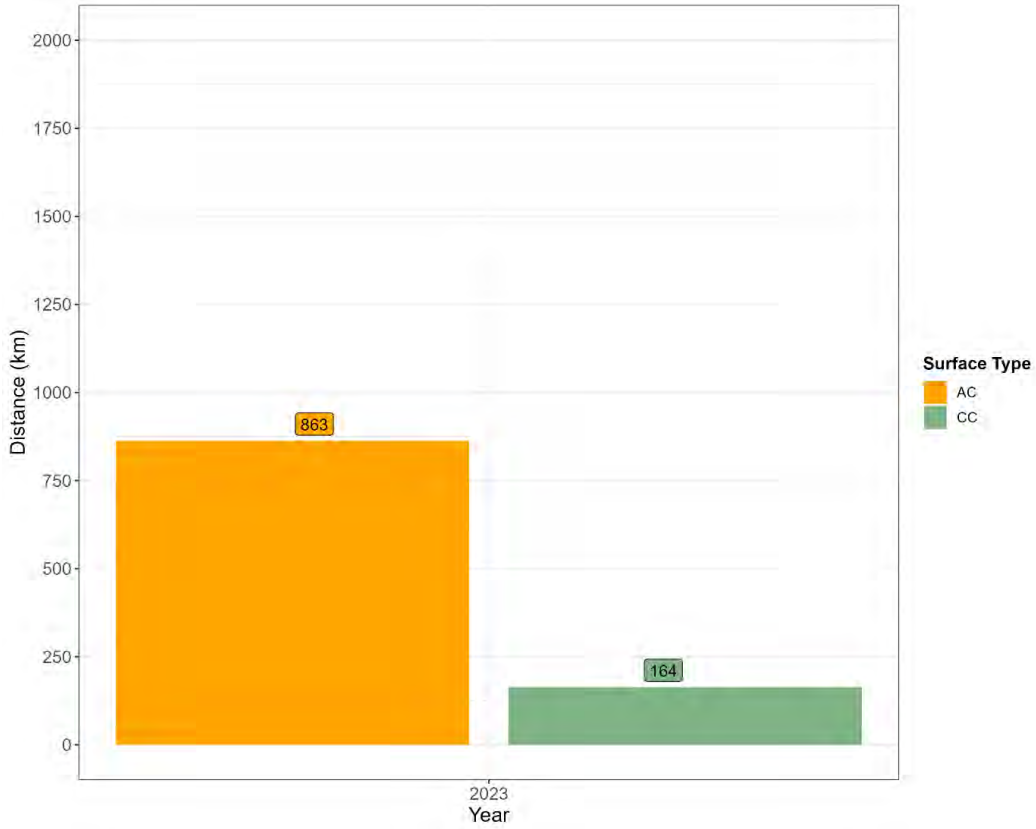
รูปที่ 3-109 ระยะทางทั้งหมดในการสำรวจค่าความเรียบของถนน

- **ความเรียบของถนน (IRI)**

จากการสำรวจความเรียบของถนนด้วยเครื่องมือ Laser Profilometer เป็นระยะทาง กิโลเมตร จำนวนสายทาง ที่ปรึกษาได้ตรวจสอบ พบว่าเป็นผิวลาดยาง (AC) คิดเป็น 84% ส่วนผิวคอนกรีต (CC) คิดเป็น 16% แสดงดังรูปที่ 3-110 ในส่วนของระยะทางสำรวจนั้น เป็นผิวทางลาดยาง 863 กิโลเมตร ส่วนผิวทางคอนกรีต 164 กิโลเมตร รวมเป็น 1027 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 3-111



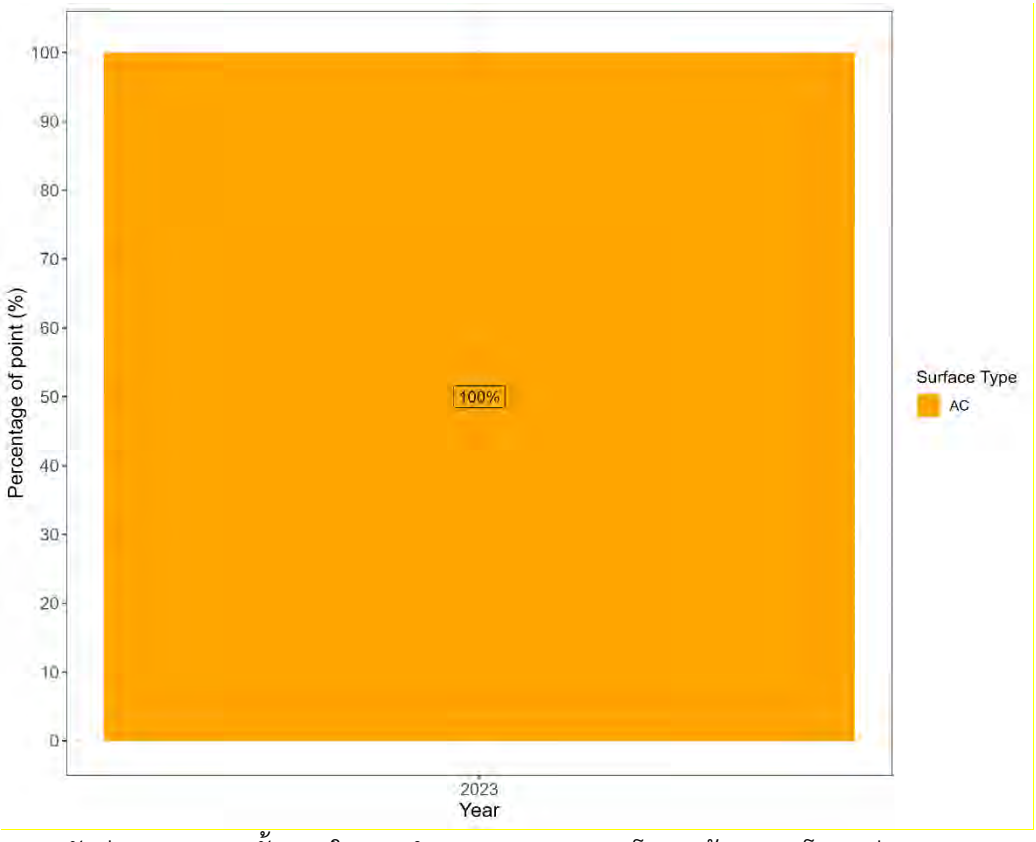
รูปที่ 3-110 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในการสำรวจความเรียบของถนน (IRI) โดยแบ่งตามประเภทผิวทาง



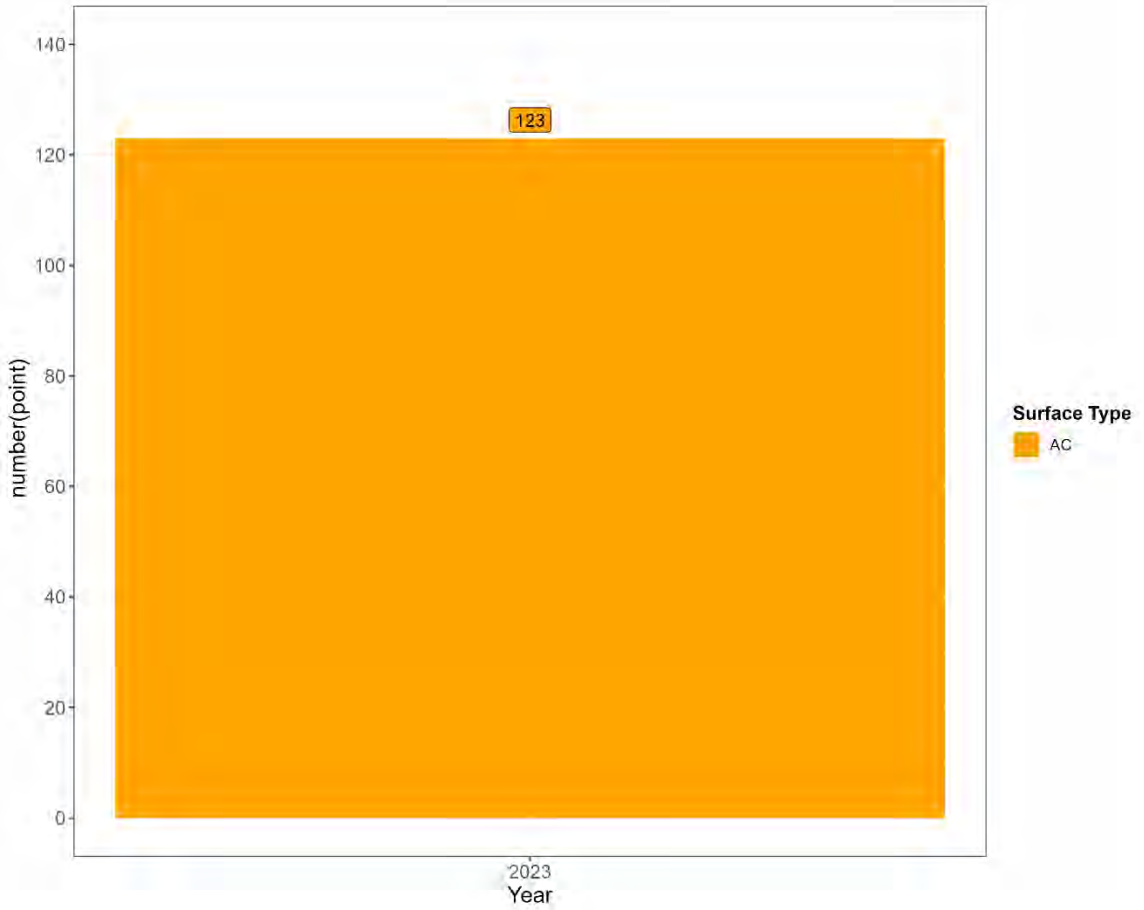
รูปที่ 3-111 ระยะทางทั้งหมดในการสำรวจค่าความเรียบของถนน

- **ความหนาของโครงสร้างถนนความแข็งแรงของถนน (SCI) ถนน**

จากการสำรวจความหนาของโครงสร้างถนน ด้วยเครื่องมือเจาะสำรวจ จำนวน 123 หลุมเจาะ จากสายทางทั้งหมด 41 สายทาง ที่ปรึกษาได้ตรวจสอบพบว่าเป็นผิวทางลาดยาง (AC) 100% แสดงดังรูปที่ 3-112 ทั้งนี้ที่ปรึกษาได้คัดเลือกเฉพาะสายทางที่เป็นพื้นผิวลาดยาง เนื่องจากการวัดค่าความแอ่นตัวและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของพื้นผิวถนนจะกระทำได้เฉพาะพื้นผิวลาดยางเท่านั้น



รูปที่ 3-112 สัดส่วนระยะทางทั้งหมดในการสำรวจความหนาของโครงสร้างถนน โดยแบ่งตามประเภทผิวทาง



รูปที่ 3-113 ระยะทางทั้งหมดในการสำรวจค่าความหนาของโครงสร้างถนน

3.2.2 ตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล

การวัดการกระจาย (Measures of Dispersion) นิยมใช้ควบคู่กับการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง เพราะจะช่วยอธิบายลักษณะของข้อมูลได้ชัดเจนขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากการวัดแนวโน้มเข้าสู่กลางเป็นเพียงการบอกค่ากลางของข้อมูลชุดนั้น แต่ยังไม่ทราบแน่ชัดถึงลักษณะการกระจายของข้อมูลว่าคะแนนต่าง ๆ ในชุดข้อมูลนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน หรือแตกต่างกันมาก ถ้าหากมีทั้งค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางและค่าการกระจาย จะทำให้เข้าใจลักษณะของข้อมูลนั้นได้ชัดเจนขึ้นมากกว่ามีเพียงค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางเพียงอย่างเดียว

การวัดการกระจายของข้อมูล แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

1) **การวัดการกระจายสัมบูรณ์ (Absolute Variation)** คือ การวัดการกระจายของข้อมูลเพียงชุดเดียว เพื่อดูว่าข้อมูลชุดนั้นแต่ละค่ามีความแตกต่างกันมากหรือน้อยเพียงใด นิยมใช้กันอยู่ 4 ชนิด คือ
   - พิสัย (Range)
   - ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (Quartile Deviation)
   - ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Average Deviation)
   - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

2) **การวัดการกระจายสัมพัทธ์ (Relative Variation)** คือการวัดการกระจายของข้อมูลที่มากกว่า 1 ชุด โดยใช้อัตราส่วนของค่าที่ได้จากการวัดการกระจายสัมบูรณ์กับค่ากลางของข้อมูลนั้น ๆ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลเหล่านั้น มีอยู่ 4ชนิดคือ
   - สัมประสิทธิ์ของพิสัย (Coefficient of Range)
   - สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (Coefficient of Quartile Deviation)
   - สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Coefficient of Average Deviation)
   - สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Coefficient of Standard Deviation)

3.2.2.1 ตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลจากฐานข้อมูลกรมทางหลวงเดิม

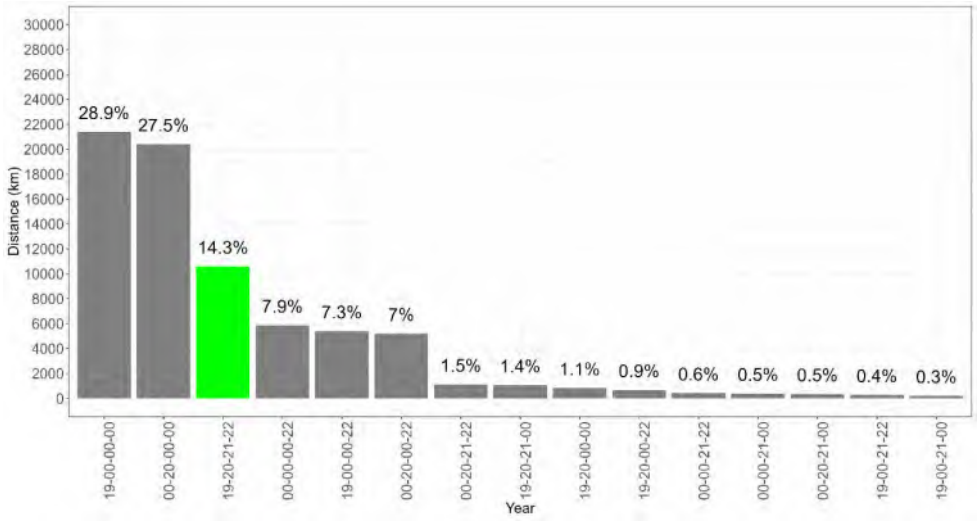
ที่ปรึกษาดำเนินการตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละภูมิภาคในประเทศไทย จากจำนวนข้อมูลตอนควบคุมที่ทำการแบ่งเป็นตอนควบคุมย่อยทุก ๆ 100 เมตร โดยทำการตรวบสอบข้อมูลทั้งหมด 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความเรียบของถนน (IRI) ความแข็งแรงของถนน (SCI) ความเสียหายของถนน (Road Distress) ความต้านทานการลื่นไถลของถนน (IFI) โดยแบ่งการตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลเป็น 2 ส่วน ได้แก่ กระจายตัวของข้อมูลเชิงเวลา และการกระจายตัวของข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- **การกระจายตัวของข้อมูลเชิงเวลา**

ที่ปรึกษาได้ทำการตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลเชิงเวลา โดยตรวจสอบความต่อเนื่องของข้อมูลทั้ง 4 ปี ของพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 ตัว โดยมีรายละเอียดดังนี้

O ความเรียบของถนน (IRI)

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบข้อมูลตอนควบคุมที่แบ่งเป็นตอนควบคุมย่อยทุก ๆ 100 เมตร ที่มีข้อมูล IRI ในปีต่อเนื่องกัน และคำนวณออกมาเป็นสัดส่วนระยะทางทั้งหมดของแต่ละประเภทข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกัน โดยแสดงผลลัพธ์ดังรูปที่ 3-113 โดยที่แกนนอน 00-00-00-00 = YY(ปี)-YY(ปี)--YY(ปี)--YY(ปี) หมายถึงข้อมูลตอนควบคุมย่อยเดียวกันที่มีข้อมูลในแต่ละปี และแกนตั้งระยะทางทั้งหมดในประเภทข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกันและตัวเลขบนแผนภูมิหมายถึงสัดส่วนของระยะทางในแต่ละประเภทต่อระยะทางทั้งหมดที่มีข้อมูลในฐานข้อมูล



หมายเหตุ : 00-00-00-00 คือปีที่มีข้อมูล YY-YY-YY-YY

รูปที่ 3-114 ระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล IRI ต่อเนื่องกัน

จากรูปที่ 3-114 สามารถสรุปข้อมูล IRI ที่ต่อเนื่องกันในฐานข้อมูล ได้ดังนี้

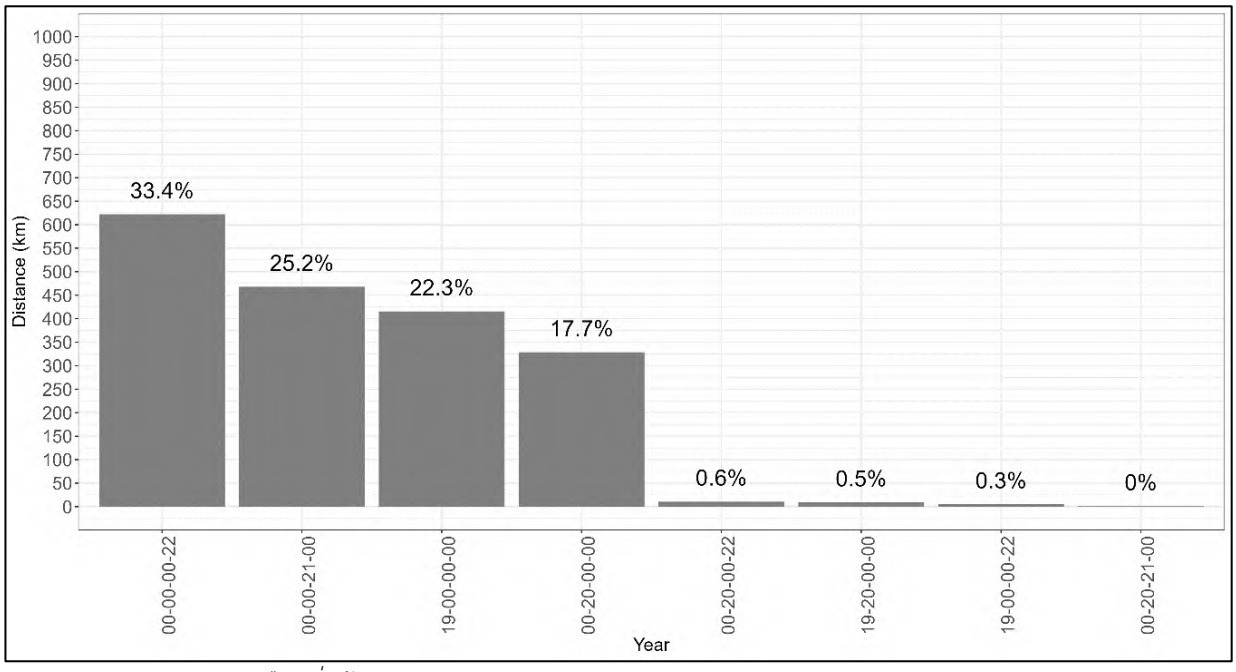
- ข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลเพียง 1 ปี มีอยู่ทั้งหมดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 65 ของข้อมูลทั้งหมดที่มีในฐานข้อมูล หรือคิดเป็นระยะทางประมาณ 48,013.5 กิโลเมตร
- ข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่องกันแค่ 2 ปี มีอยู่ทั้งหมดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 3 ของข้อมูลทั้งหมดที่มีในฐานข้อมูล หรือคิดเป็นระยะทางประมาณ 2,542.1 กิโลเมตร

- ข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่องกันแค่ 3 ปี มีอยู่ทั้งหมดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 3 ของข้อมูลทั้งหมดที่มีในฐานข้อมูล หรือคิดเป็นระยะทางประมาณ 2,165.1 กิโลเมตร
- ข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่องกันแค่ 4 ปี มีอยู่ทั้งหมดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 14 ของข้อมูลทั้งหมดที่มีในฐานข้อมูล หรือคิดเป็นระยะทางประมาณ 10,586.1 กิโลเมตร
- นอกนั้นเป็นข้อมูล 2 ปีที่ไม่ต่อเนื่องกันอีกประมาณร้อยละ 15 หรือคิดเป็นระยะทาง 10,790.8 กิโลเมตร

o ความแข็งแรงของถนน (SCI)

เนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้คำนวณ SCI มีหลายตัวแปร และจากการตรวจสอบถ้าข้อมูลตัวแปรใดมีข้อมูล ตัวแปรอื่นจะมีข้อมูลเช่นกัน ดังนั้นจากข้อมูลที่สามารถนำมาคำนวณค่า SCI ในหัวข้อนี้ที่ปรึกษาได้เลือกค่า Deflection มาใช้ในการตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบข้อมูลตอนควบคุมที่แบ่งเป็นตอนควบคุมย่อยทุก ๆ 100 เมตร ที่มีข้อมูล Deflection ในปีต่อเนื่องกัน และคำนวณออกมาเป็นสัดส่วนระยะทางทั้งหมดของแต่ละประเภทข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกัน ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3-115



หมายเหตุ : 00-00-00-00 คือปีที่มีข้อมูล YY-YY-YY-YY

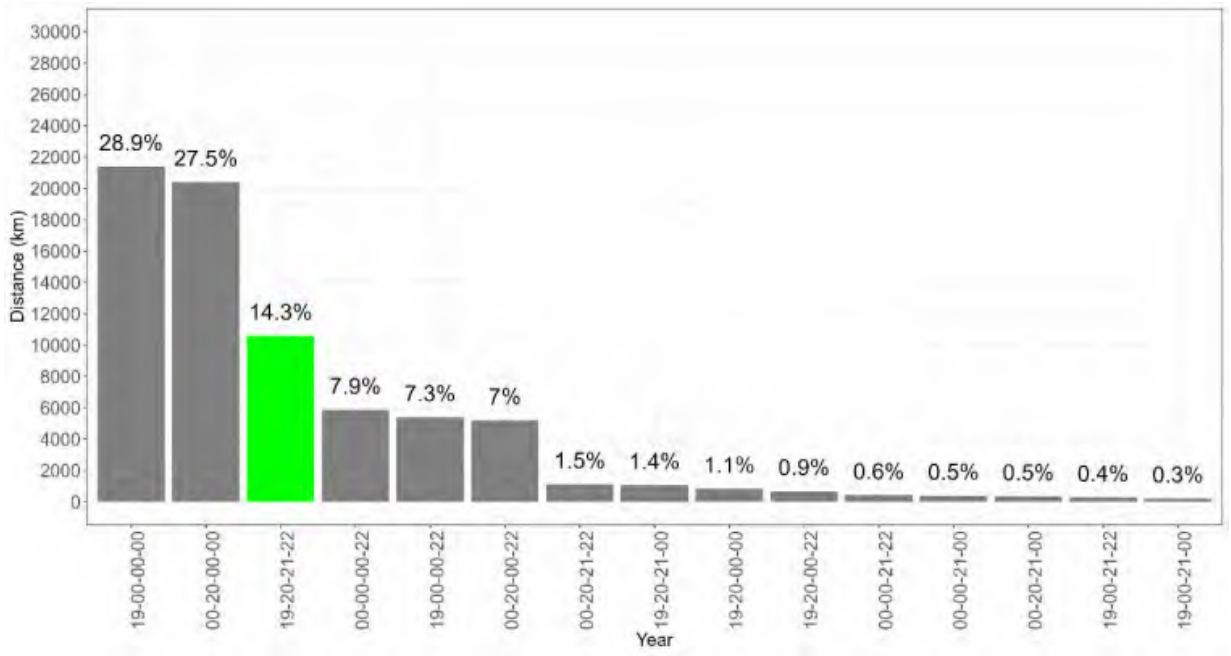
รูปที่ 3-115 ระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล Deflection ต่อเนื่องกัน

จากรูปที่ 3-115 สามารถสรุปข้อมูล Deflection ที่ต่อเนื่องกันในฐานข้อมูล ได้ดังนี้

- ข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลเพียง 1 ปี มีอยู่ทั้งหมดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 98 ของข้อมูลทั้งหมดที่มีในฐานข้อมูล หรือคิดเป็นระยะทางประมาณ 1,834 กิโลเมตร
- ข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่องกันแค่ 2 ปี มีอยู่ทั้งหมดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.5 ของข้อมูลทั้งหมดที่มีในฐานข้อมูล หรือคิดเป็นระยะทางประมาณ 10 กิโลเมตร
- ไม่มีข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่องกันแค่ 3 ปี และ 4 ปี
- นอกนั้นเป็นข้อมูล 2 ปีที่ไม่ต่อเนื่องกันอีกประมาณร้อยละ 1 หรือคิดเป็นระยะทาง 16 กิโลเมตร

o ความเสียหายของถนน (Road Distress)

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบข้อมูลตอนควบคุมที่แบ่งเป็นตอนควบคุมย่อยทุก ๆ 100 เมตร ที่มีข้อมูลความเสียหายของถนนในปีต่อเนื่องกัน และคำนวณออกมาเป็นสัดส่วนระยะทางทั้งหมดของแต่ละประเภทข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกัน ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3-116



หมายเหตุ : 00-00-00-00 คือปีที่มีข้อมูล YY-YY-YY-YY และระยะทางที่แสดงในกราฟหมายถึงระยะทางของตอนควบคุมที่มีข้อมูลความเสียหาย

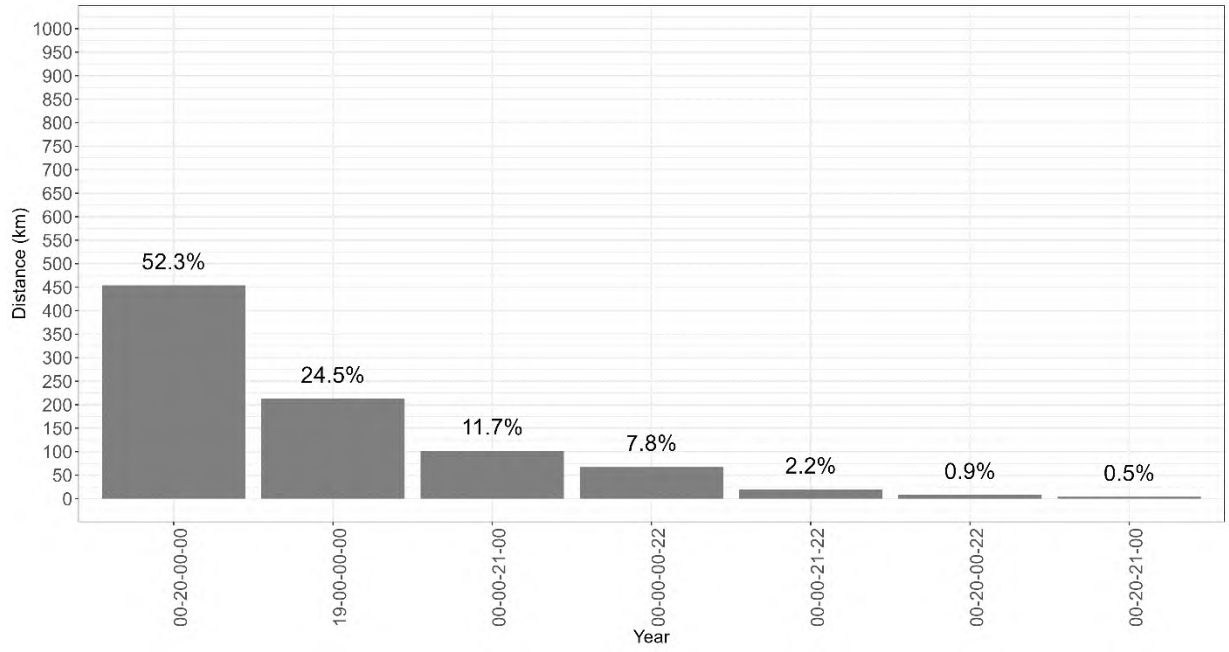
รูปที่ 3-116 ระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูลความเสียหายของถนนต่อเนื่องกัน

จากรูปที่ 3-116 สามารถสรุปข้อมูลความเสียหายของถนนที่ต่อเนื่องกันในฐานข้อมูล ได้ดังนี้

- ข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลเพียง 1 ปี มีอยู่ทั้งหมดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 65 ของข้อมูลทั้งหมดที่มีในฐานข้อมูล หรือคิดเป็นระยะทางประมาณ 48,013.5 กิโลเมตร
- ข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่องกันแค่ 2 ปี มีอยู่ทั้งหมดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 3 ของข้อมูลทั้งหมดที่มีในฐานข้อมูล หรือคิดเป็นระยะทางประมาณ 2,542.1 กิโลเมตร
- ข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่องกันแค่ 3 ปี มีอยู่ทั้งหมดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 3 ของข้อมูลทั้งหมดที่มีในฐานข้อมูล หรือคิดเป็นระยะทางประมาณ 2,165.1 กิโลเมตร
- ข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่องกันแค่ 4 ปี มีอยู่ทั้งหมดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 14 ของข้อมูลทั้งหมดที่มีในฐานข้อมูล หรือคิดเป็นระยะทางประมาณ 10,586.1 กิโลเมตร
- นอกนั้นเป็นข้อมูล 2 ปีที่ไม่ต่อเนื่องกันอีกประมาณร้อยละ 15 หรือคิดเป็นระยะทาง 10,790.8 กิโลเมตร

O ความต้านทานการลื่นไถล (IFI)

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบข้อมูลตอนควบคุมที่แบ่งเป็นตอนควบคุมย่อยทุก ๆ 100 เมตร ที่มีข้อมูล IFI ในปีต่อเนื่องกัน และคำนวณออกมาเป็นสัดส่วนระยะทางทั้งหมดของแต่ละประเภทข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกัน ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3-117



หมายเหตุ : 00-00-00-00 คือปีที่มีข้อมูล YY-YY-YY-YY

รูปที่ 3-117 ระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล IFI ต่อเนื่องกัน

จากรูปที่ 3-117 สามารถสรุปข้อมูล IFI ที่ต่อเนื่องกันในฐานข้อมูล ได้ดังนี้

- ข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลเพียง 1 ปี มีอยู่ทั้งหมดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 96 ของข้อมูลทั้งหมดที่มีในฐานข้อมูล หรือคิดเป็นระยะทางประมาณ 836.1 กิโลเมตร
- ข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่องกันแค่ 2 ปี มีอยู่ทั้งหมดเฉลี่ยประมาณร้อยละ 3 ของข้อมูลทั้งหมดที่มีในฐานข้อมูล หรือคิดเป็นระยะทางประมาณ 23.3 กิโลเมตร
- ไม่มีข้อมูลระยะทางของตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่องกันแค่ 3 ปี และ 4 ปี
- นอกนั้นเป็นข้อมูล 2 ปีที่ไม่ต่อเนื่องกันอีกประมาณร้อยละ 1 หรือคิดเป็นระยะทาง 8 กิโลเมตร

การกระจายตัวของข้อมูลเชิงพื้นที่

ที่ปรึกษาได้ทำการตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละภูมิภาคในประเทศไทย โดยในฐานข้อมูลมีหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด 19 หน่วยงาน แสดงดังตารางที่ 3-15

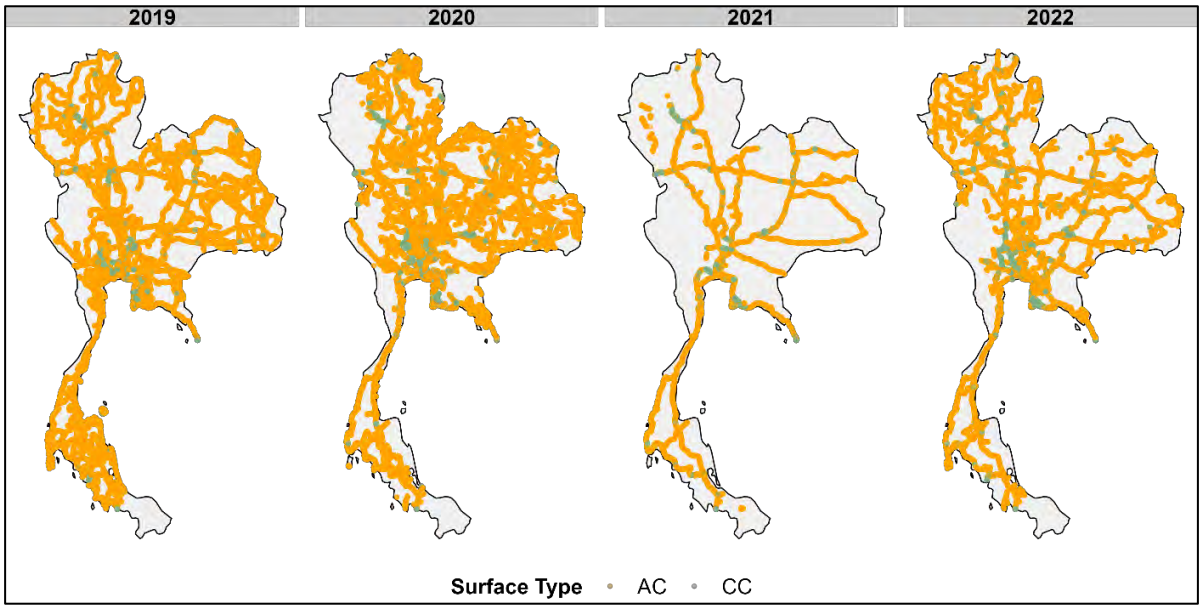
ตารางที่ 3-15 รายชื่อหน่วยงานที่รับผิดชอบ

รหัสหน่วยงาน	ชื่อหน่วยงานที่รับผิดชอบ
152	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)
155	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)
156	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)
260	กองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง
310	สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)
320	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)
330	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)
410	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)
420	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)
430	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)
440	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)
510	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)
520	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)
530	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)
550	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)
610	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)
620	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)
630	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)
640	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)

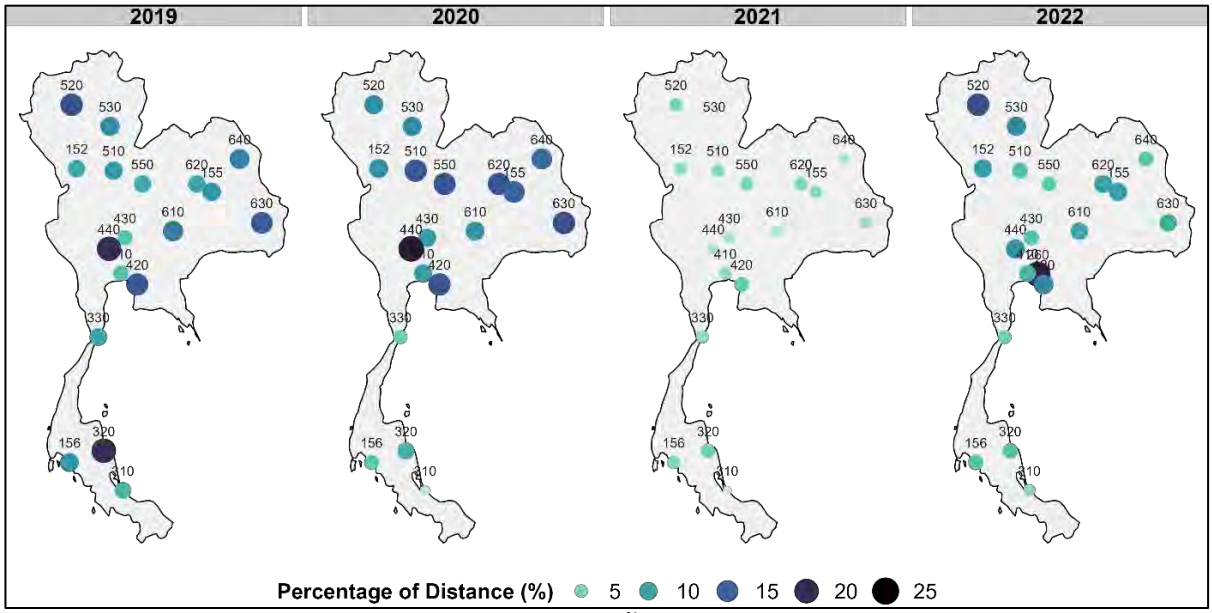
โดยทำการตรวจสอบพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 ตัว มีรายละเอียดดังนี้

- **ความเรียบของถนน (IRI)**

ที่ปรึกษาได้นำข้อมูล IRI ทั้งหมดในฐานข้อมูลมาแสดงบนแผนที่เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละภูมิภาค แสดงดังรูปที่ 3-118 และการกระจายตัวในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบแสดงดังรูปที่ 3-119 นอกจากนี้ที่ปรึกษาได้ทำการแสดงผลข้อมูล IRI ในตอนควบคุมย่อยที่ความต่อเนื่องกันทั้ง 4 ปีบนแผนที่แสดงดังรูปที่ 3-120 และการกระจายตัวของปริมาณระยะทางต่อระยะทางทั้งหมดที่หน่วยงานรับผิดชอบ แสดงดังรูปที่ 3-121

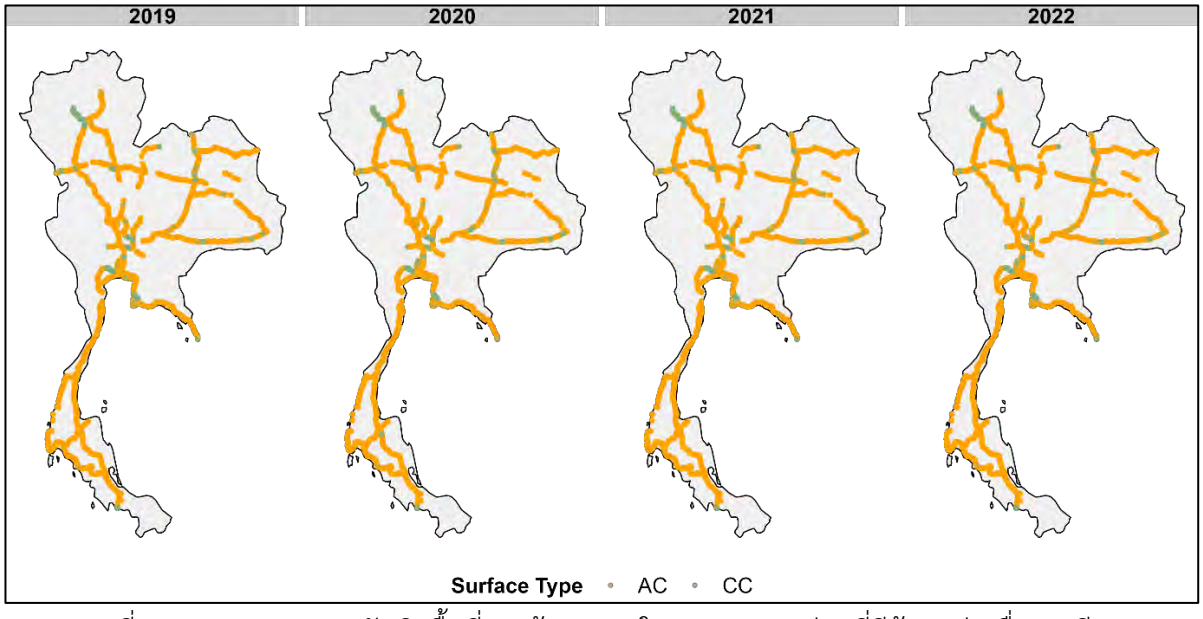


รูปที่ 3-118 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูล IRI ในแต่ละภูมิภาค

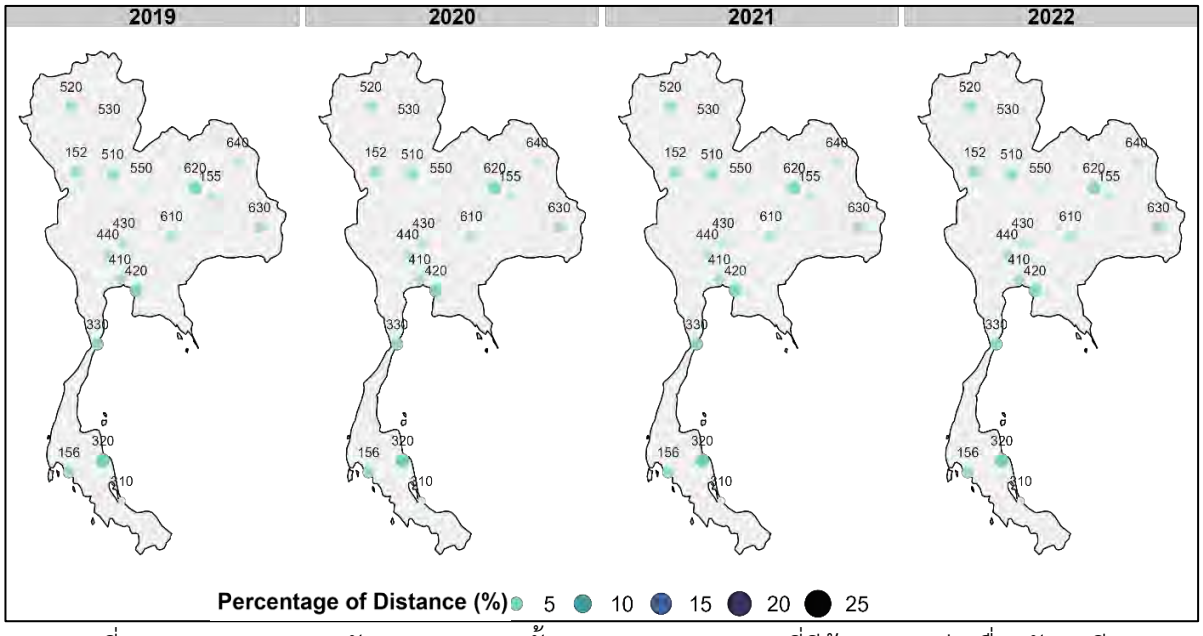


รูปที่ 3-119 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล IRI ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด

จากรูปที่ 3-118 จะเห็นได้ว่าข้อมูล IRI ในฐานข้อมูลในแต่ละปีค่อนข้างจะครอบคลุมในแต่ละภูมิภาค แต่ในปี 2021 จะมีข้อมูลน้อยกว่าปีอื่น ๆ และสัดส่วนปริมาณระยะทางต่อปริมาณระยะทางทั้งหมดในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบแสดงดังรูปที่ 3-119 ทั้งหมด 18 หน่วยงาน มีปริมาณระยะทางโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 9.8 ต่อหน่วยงาน โดยกองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง จะมีปริมาณข้อมูลมากที่สุดโดยเฉลี่ยของทุกปีอยู่ร้อยละ 21.1 ตามด้วยสำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี) และสำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี) เฉลี่ยของทุกปีอยู่ที่ ร้อยละ 14.1 และ 12.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3-120 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูล IRI ในตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่อง 4 ปี



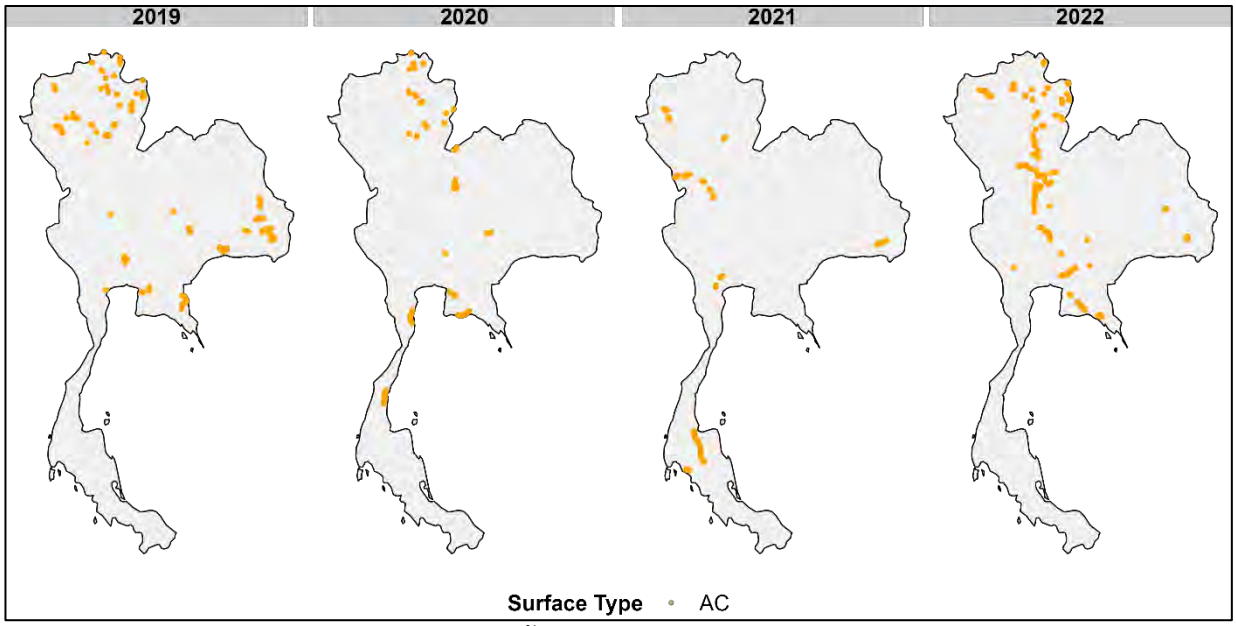
รูปที่ 3-121 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล IRI ต่อเนื่องกัน 4 ปี ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด

จากรูปที่ 3-121 จะเห็นได้ว่าข้อมูล IRI ที่มีข้อมูลต่อเนื่องกัน 4 ปี ค่อนข้างจะครอบคลุมทุกภูมิภาค แต่จะมีข้อมูลค่อนข้างน้อยถ้าเทียบกับจำนวนข้อมูล IRI ที่มีทั้งหมดในฐานข้อมูล และสัดส่วนปริมาณระยะทางต่อปริมาณระยะทางทั้งหมดในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบแสดงดังรูปที่ 3-119 ทั้งหมด 18 หน่วยงาน โดยปริมาณระยะทางเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 3.1 ต่อหน่วยงาน โดยสำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช) จะมีปริมาณข้อมูลมากที่สุดโดยเฉลี่ยของทุกปีอยู่ร้อยละ 5.1 ตามด้วยสำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี) และสำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น) เฉลี่ยของทุกปีอยู่ที่ร้อยละ 4.6 และ 4.5 ตามลำดับ

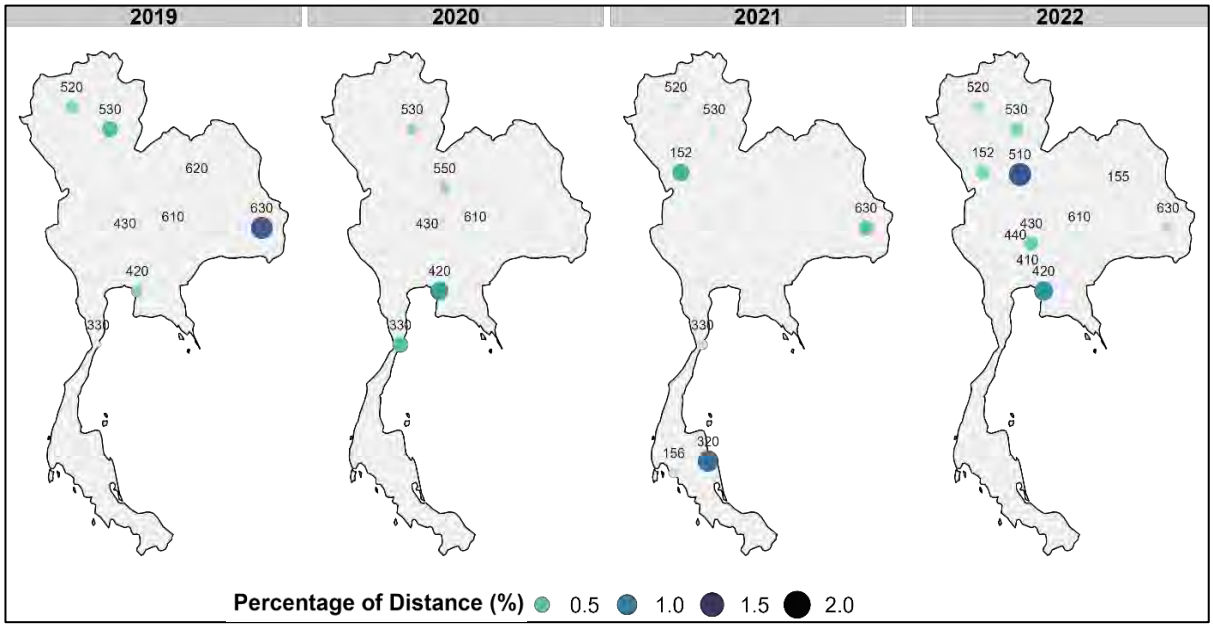
- **ความแข็งแรงของถนน (SCI)**

เนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้คำนวณ SCI มีหลายตัวแปร และจากการตรวจสอบถ้าข้อมูลตัวแปรใดมีข้อมูล ตัวแปรอื่นจะมีข้อมูลเช่นกัน ดังนั้นจากข้อมูลที่สามารถนำมาคำนวณค่า SCI ในหัวข้อนี้ที่ปรึกษาได้เลือกค่า Deflection มาใช้ในการตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล

ที่ปรึกษาได้นำข้อมูล Deflection ทั้งหมดในฐานข้อมูลมาแสดงบนแผนที่เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละภูมิภาคแสดงดัง รูปที่ 3-122 และการกระจายตัวของปริมาณระยะทางต่อระยะทางทั้งหมดที่หน่วยงานรับผิดชอบ แสดงดังรูปที่ 3-123



รูปที่ 3-122 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูล Deflection ในแต่ละภูมิภาค

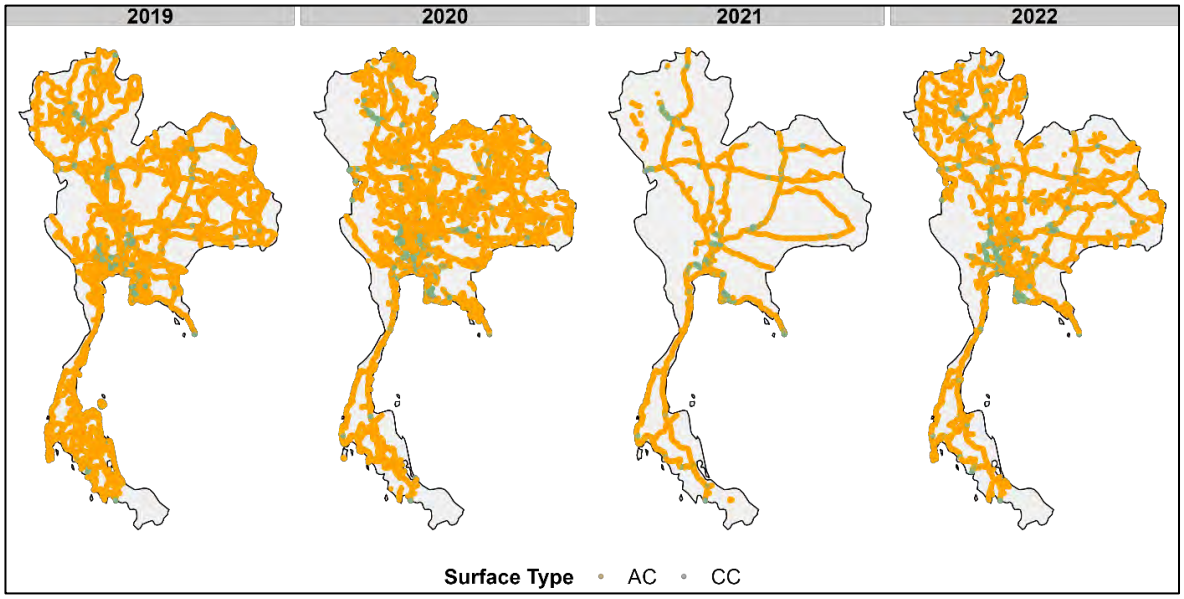


รูปที่ 3-123 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล Deflection ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด

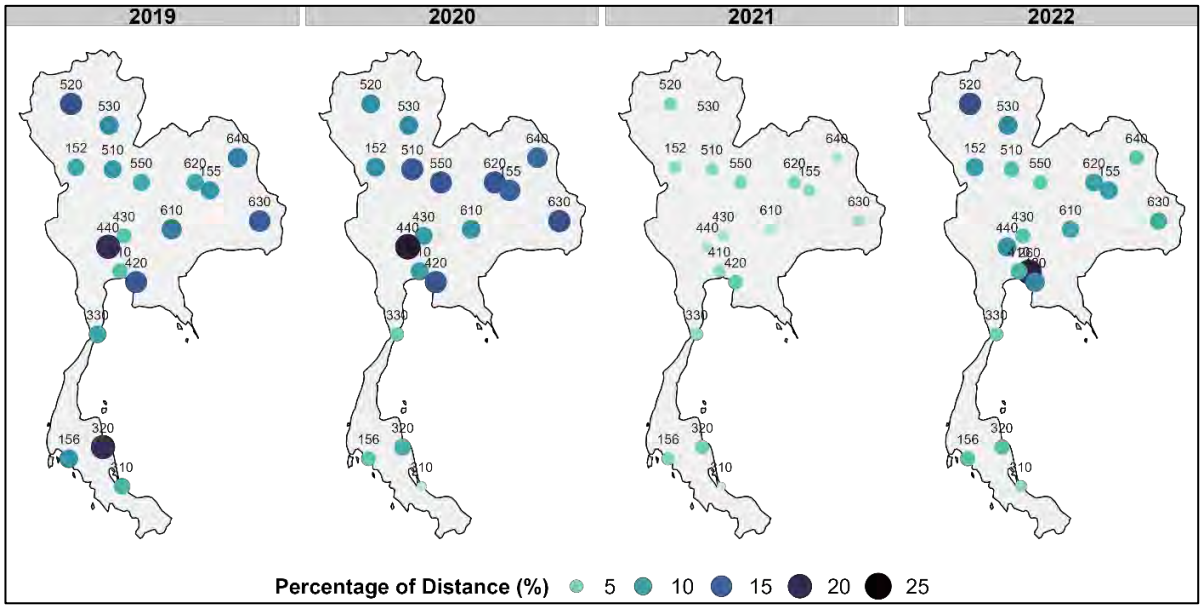
จากรูปที่ 3-123 จะเห็นได้ว่าข้อมูล Deflection จะค่อนข้างน้อยในแต่ละภูมิภาค และสัดส่วนปริมาณระยะทางต่อปริมาณระยะทางทั้งหมดในแต่ละหน่วยงานที่ต้องรับผิดชอบแสดงดังรูปที่ 3-119 โดยปริมาณระยะทางเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 0.3 ต่อหน่วยงาน โดยสำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก) จะมีปริมาณข้อมูลมากที่สุดโดยเฉลี่ยของทุกปีอยู่ร้อยละ 1.3 ตามด้วยสำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช) จะมีปริมาณข้อมูลรองลงมาโดยเฉลี่ยของทุกปีอยู่ร้อยละ 1.1 และตามด้วยสำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี) เฉลี่ยของทุกปีอยู่ที่ร้อยละ 0.6

- **ความเสียหายของถนน (Road Distress)**

ที่ปรึกษาได้นำข้อมูลความเสียหายของถนนทั้งหมดในฐานข้อมูลที่มีความเสียหายของถนน มาแสดงบนแผนที่เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละภูมิภาค แสดงดังรูปที่ 3-124 และการกระจายตัวในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบแสดงดังรูปที่ 3-125 นอกจากนี้ที่ปรึกษาได้ทำการแสดงผลข้อมูลความเสียหายของถนนในตอนควบคุมย่อยที่ความต่อเนื่องกันทั้ง 4 ปี บนแผนที่แสดงดังรูปที่ 3-126 และแสดงสัดส่วนปริมาณระยะทางต่อปริมาณระยะทางทั้งหมดในแต่ละหน่วยงานที่ต้องรับผิดชอบแสดงดังรูปที่ 3-124

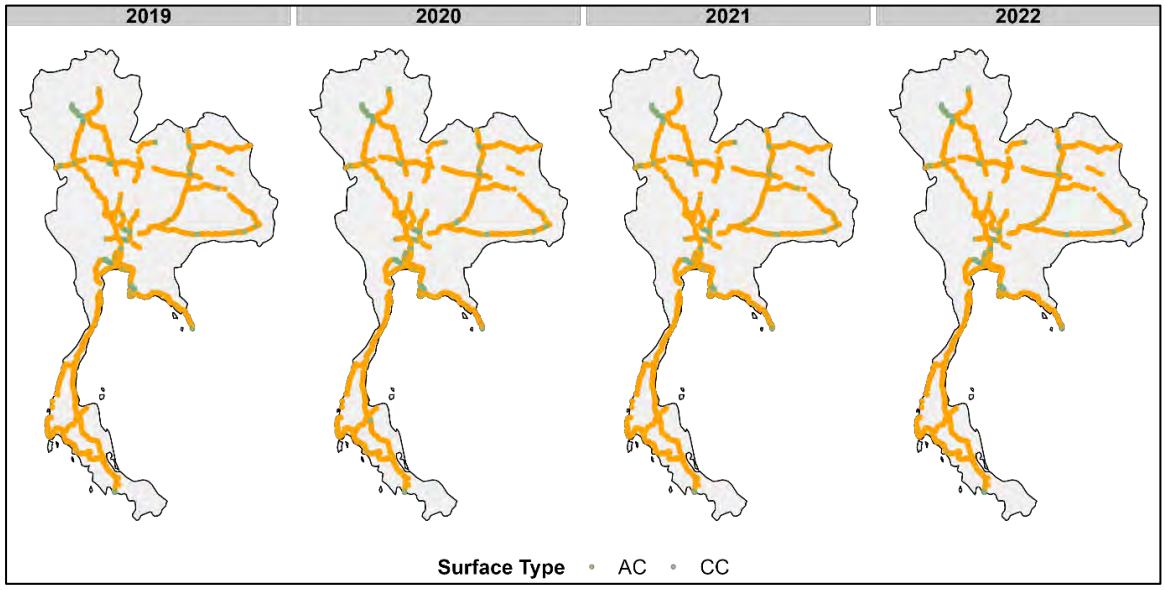


รูปที่ 3-124 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูลความเสียหายของถนนในแต่ละภูมิภาค

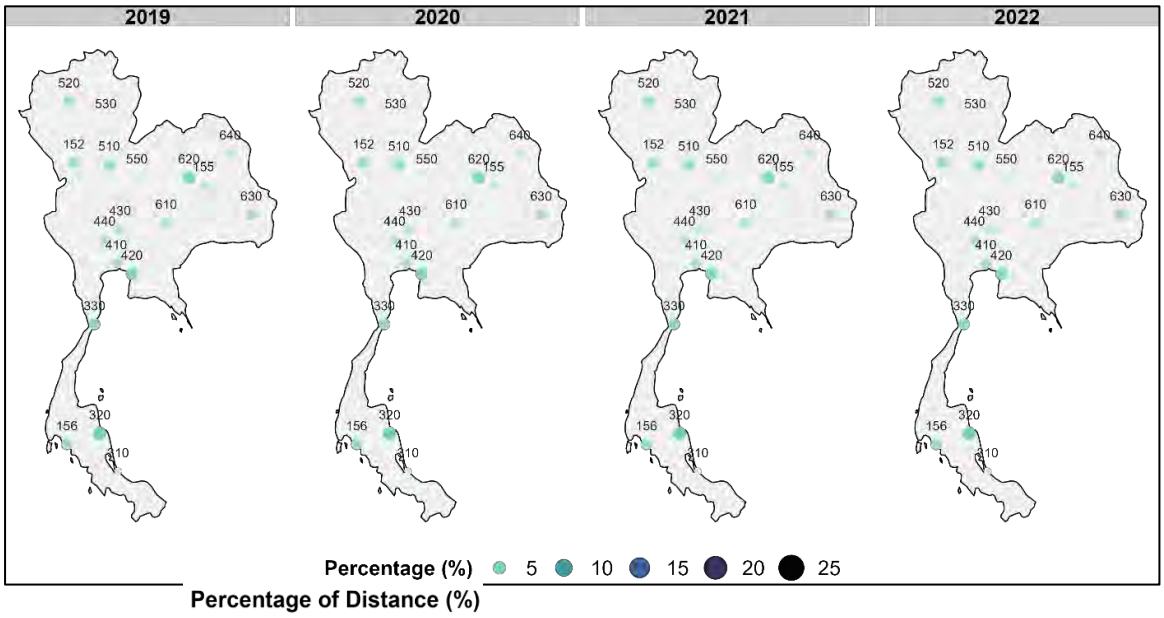


รูปที่ 3-125 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูลความเสียหายของถนน ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด

จากรูปที่ 3-124 จะเห็นได้ว่าข้อมูลความเสียหายของถนนในปี 2021 จะมีข้อมูลน้อยกว่าปีอื่น และสัดส่วนปริมาณระยะทางต่อปริมาณระยะทางทั้งหมดในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบแสดงดังรูปที่ 3-125 ทั้งหมด 18 หน่วยงาน มีปริมาณระยะทางโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 9.8 ต่อหน่วยงาน โดยกองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง จะมีปริมาณข้อมูลมากที่สุดโดยเฉลี่ยของทุกปีอยู่ร้อยละ 21.1 ตามด้วยสำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี) และสำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี) เฉลี่ยของทุกปีอยู่ที่ ร้อยละ 14.1 และ 12.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3-126 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูลความเสียหายของถนนในตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่อง 4 ปี

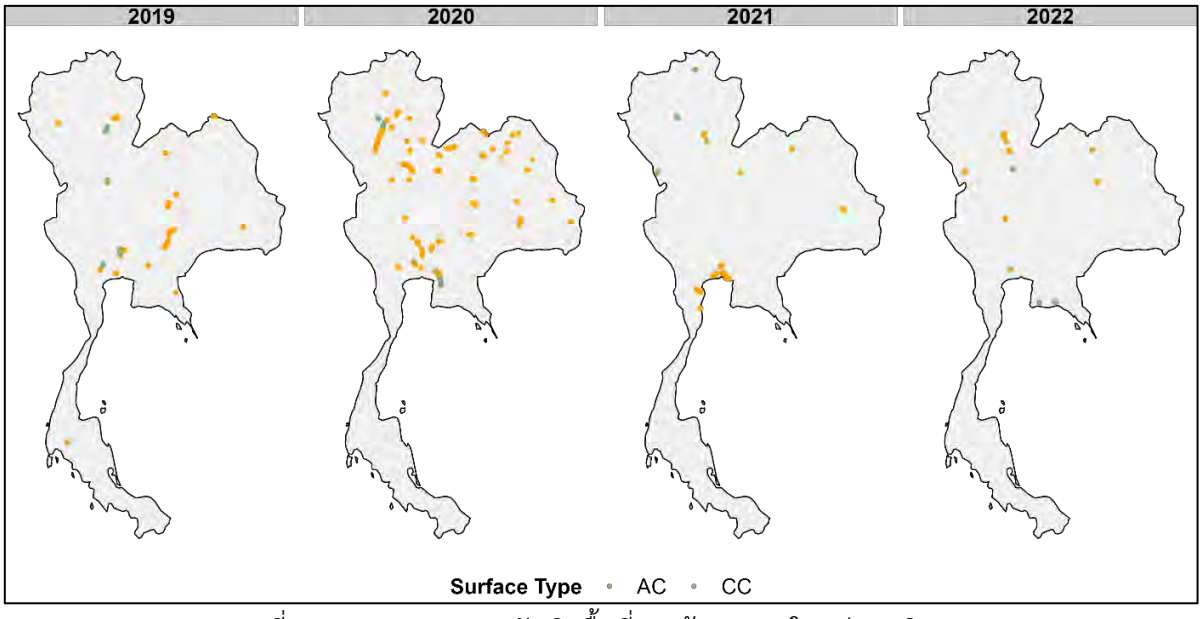


รูปที่ 3-127 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูลความเสียหายของถนนในตอนควบคุมย่อยที่มีข้อมูลต่อเนื่อง 4 ปีแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบ

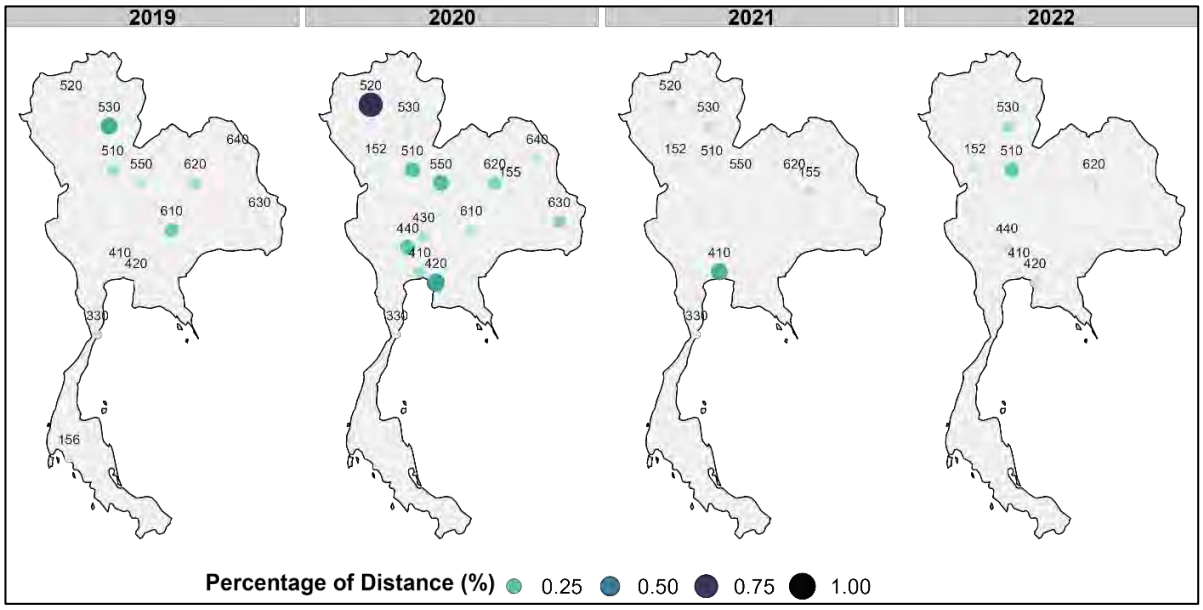
จากรูปที่ 3-126 จะเห็นได้ว่าข้อมูลความเสียหายของถนน ที่มีข้อมูลต่อเนื่องกัน 4 ปี ค่อนข้างจะครอบคลุมบริเวณในแถบภาคกลางของประเทศไทยเป็นส่วนใหญ่ แต่จะมีปริมาณระยะทางค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณระยะทางทั้งหมดที่มีข้อมูลความเสียหายในฐานข้อมูล และสัดส่วนในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบจากรูปที่ 3-127 ทั้งหมด 16 หน่วยงาน โดยปริมาณระยะทางเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 3.1 ต่อหน่วยงาน โดยสำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช) จะมีปริมาณข้อมูลมากที่สุดโดยเฉลี่ยของทุกปีอยู่ร้อยละ 5.1 ตามด้วยสำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี) และสำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น) เฉลี่ยของทุกปีอยู่ที่ร้อยละ 4.6 และ 4.5 ตามลำดับ

o ความต้านทานการลื่นไถล (IFI)

ที่ปรึกษาได้นำข้อมูล IFI ทั้งหมดในฐานข้อมูลมาแสดงบนแผนที่เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละภูมิภาคแสดงดังรูปที่ 3-128 และแสดงสัดส่วนปริมาณระยะทางต่อปริมาณระยะทางทั้งหมดในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบแสดงดังรูปที่ 3-129



รูปที่ 3-128 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูล IFI ในแต่ละภูมิภาค

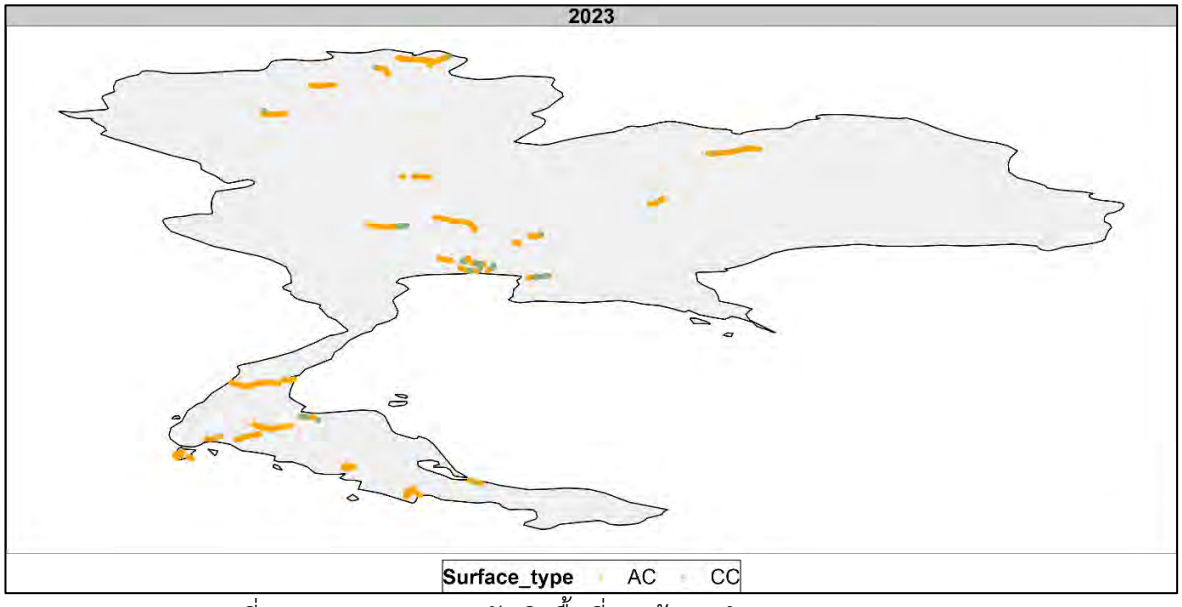


รูปที่ 3-129 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดของตอนควบคุมที่มีข้อมูล IFI ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด

จากรูปที่ 3-128 จะเห็นได้ว่าข้อมูล IFI จะค่อนข้างน้อย ทำให้กระจายตัวของข้อมูลไม่ครอบคลุมทุกภูมิภาค โดยเฉพาะในปี 2021 และ 2022 จะมีข้อมูลน้อยกว่าในปีอื่น ๆ และสัดส่วนปริมาณระยะทางต่อปริมาณระยะทางทั้งหมดในแต่ละหน่วยงานที่ต้องรับผิดชอบแสดงดังรูปที่ 3-129 ทั้งหมด 16 หน่วยงาน โดยปริมาณระยะทางเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 0.1 ต่อหน่วยงาน โดยสำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่) จะมีปริมาณข้อมูลมากที่สุดโดยเฉลี่ย ของทุกปีอยู่ร้อยละ 0.3 ตามด้วยสำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี) และสำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก) เฉลี่ยของทุกปีอยู่ที่ร้อยละ 0.2

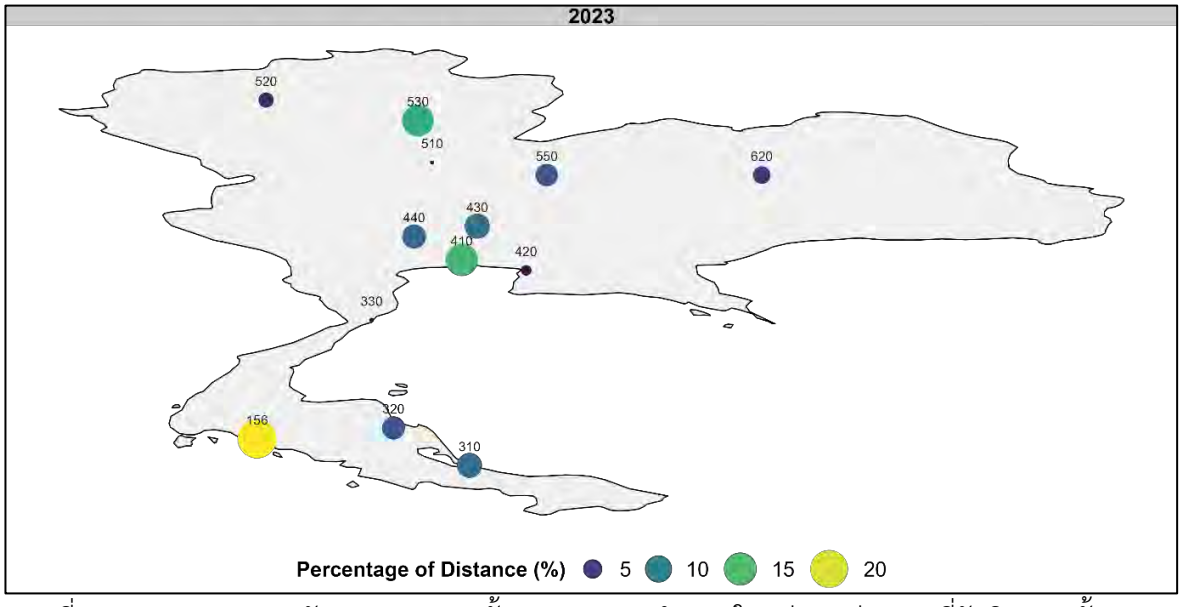
3.2.2.2 ตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลสำรวจ

ในส่วนของงานสำรวจความเสียหายของถนนนั้น มีการกระจายตัวของข้อมูลในเชิงพื้นที่ โดยที่ปรึกษาได้นำสายทางที่สำรวจทั้งหมดแสดงบนแผนที่ เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละภูมิภาคแสดงดังรูปที่ 3-130 และการกระจายตัวในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบแสดงดังรูปที่ 3-131



รูปที่ 3-130 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูลสำรวจ Road Distress

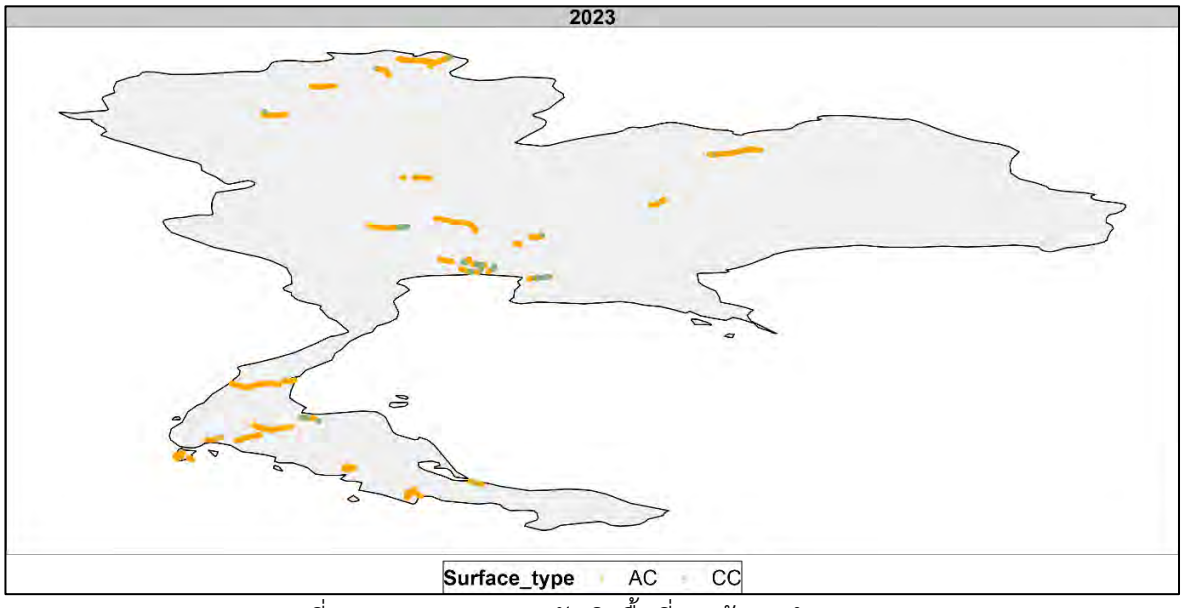
จากรูปที่ 3-130 พบว่ามีการกระจายตัวไปในแต่ละภูมิภาค ซึ่งโดยมากสายทางนั้นอยู่ทางภาคใต้เป็นหลัก ในสัดส่วนของแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบแสดงดังรูปที่ 3-131 ซึ่งพบว่า สำนักงานทางหลวงที่17 (กระบี่) มีปริมาณข้อมูลที่มากที่สุด พบมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลสำรวจทั้งหมด



รูปที่ 3-131 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดจากการสำรวจ ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด

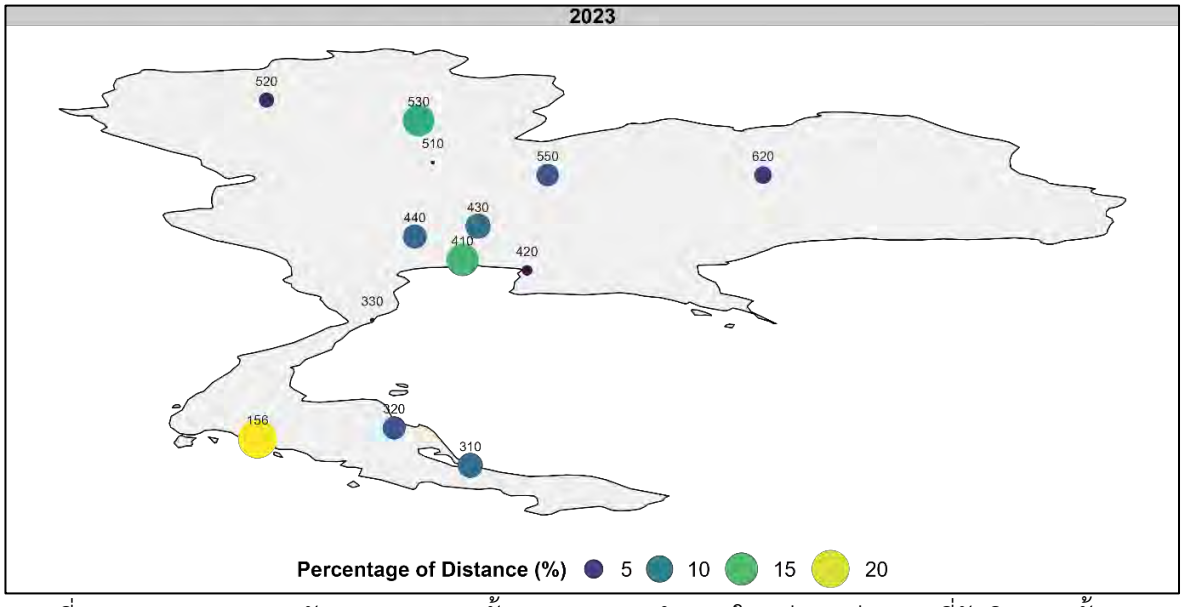
3.2.3 ความเรียบของถนน (IRI)

ในส่วนของงานสำรวจความเรียบของถนนนั้น มีการกระจายตัวของข้อมูลในเชิงพื้นที่ โดยที่ปรึกษาได้นำสายทางที่สำรวจทั้งหมดแสดงบนแผนที่ เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละภูมิภาคแสดงดังรูปที่ 3-132 และการกระจายตัวในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบแสดงดังรูปที่ 3-133



รูปที่ 3-132 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูลสำรวจ IRI

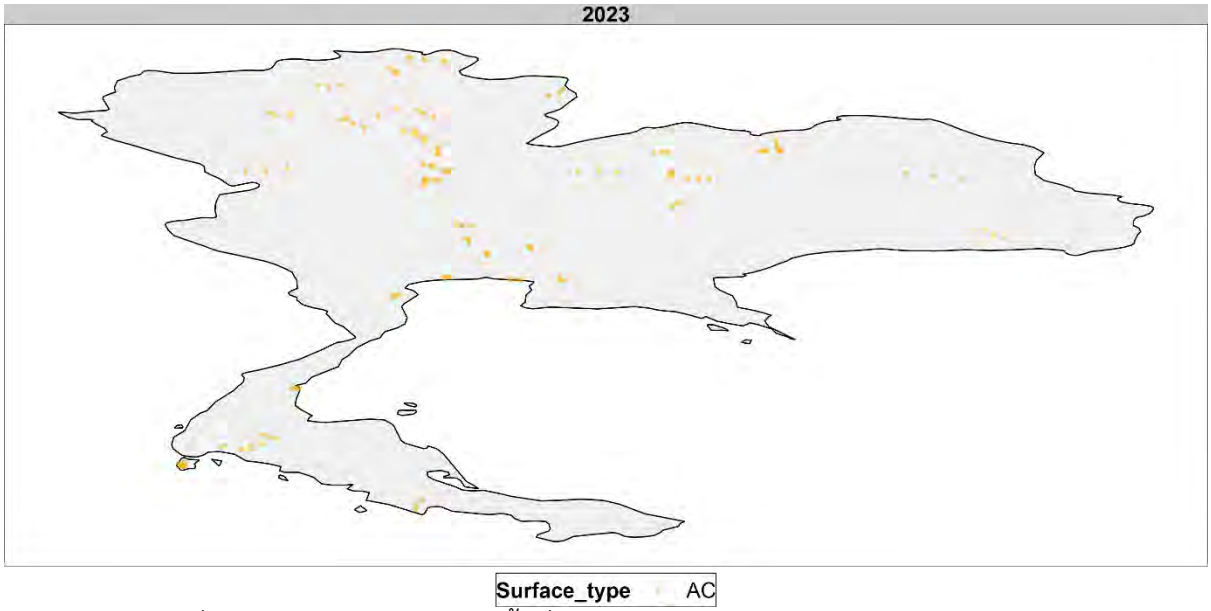
จากรูปที่ 3-132 พบว่ามีการกระจายตัวไปในแต่ละภูมิภาค ซึ่งโดยมากสายทางนั้นอยู่ทางภาคใต้เป็นหลัก ในสัดส่วนของแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบดังรูปที่ 3-133 พบว่าสำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่) มีปริมาณข้อมูลที่มากที่สุด พบมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลสำรวจทั้งหมด



รูปที่ 3-133 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดจากการสำรวจ ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด

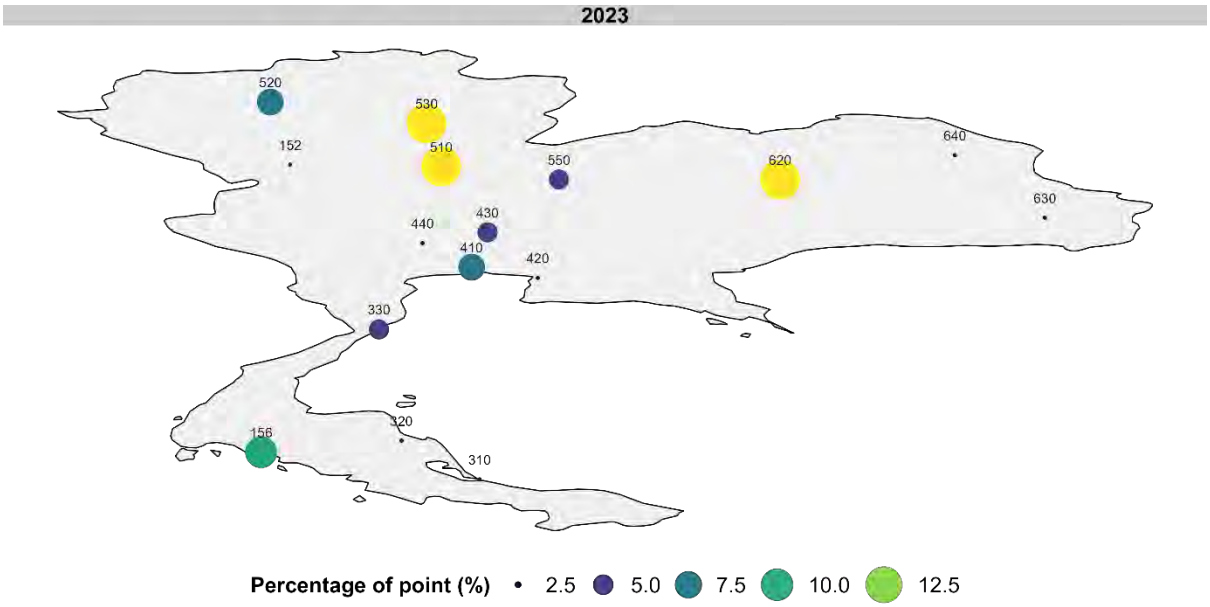
3.2.4 ความหนาของโครงสร้างถนน

ในส่วนของงานสำรวจความหนาของโครงสร้างถนนนั้น มีการกระจายตัวของข้อมูลในเชิงพื้นที่ โดยที่ปรึกษาได้นำสายทางที่สำรวจทั้งหมดแสดงบนแผนที่เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละภูมิภาคแสดงดังรูปที่ 3-134 และการกระจายตัวในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบแสดงดังรูปที่ 3-135



รูปที่ 3-134 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูลสำรวจความหนาของโครงสร้างถนน

จากรูปที่ 3-134 พบว่ามีการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละภูมิภาค ซึ่งโดยมากสายทางเหล่านั้นจะอยู่ทางภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นหลัก หากวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมจะพบว่าสัดส่วนของแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบแสดงได้แสดงดังรูปที่ 3-135 โดยมีสำนักงานทางหลวงเขตที่ 7 (ขอนแก่น) สำนักงานทางหลวงเขตที่ 2 (แพร่) และสำนักงานทางหลวงเขตที่ 5 (พิษณุโลก) เป็นหน่วยงานที่มีปริมาณข้อมูลสำรวจมากกว่าร้อยละ 20 ของข้อมูลสำรวจทั้งหมด



รูปที่ 3-135 การกระจายตัวของระยะทางทั้งหมดจากการสำรวจ ในแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบทั้งหมด

3.2.5 ตรวจสอบความถูกต้องและความผิดปกติของข้อมูล

ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ในการนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะต้องมีความสมบูรณ์ครบถ้วน (Completeness) และความถูกต้อง (Accuracy) การที่จะได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความถูกต้อง คือ ขจัดความคลาดเคลื่อนให้เหลือน้อยที่สุด การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเบื้องต้น ควรทราบถึงแหล่งที่มาของข้อมูล วันเวลาที่จัดเก็บ กระบวนการจัดเก็บรวบรวม จำนวนข้อมูลทั้งหมด จำนวนตัวแปร ระดับการวัดของแต่ละตัวแปร ช่วงค่าพิสัยของตัวแปรค่าข้อมูลที่สูญหายในแต่ละตัวแปร (Missing Values) และค่าที่สูงหรือต่ำอย่างผิดปกติ (Outliers) เมื่อตรวจสอบแล้วพบค่าที่ผิดพลาดควรแก้ไขหรือลบข้อมูลทิ้งทั้งแถวหรือคอลัมน์ (Listwise) หรือตัดเฉพาะคู่ (Pairwise) ที่เกี่ยวข้อง แล้วจึงทำการคาดคะเนค่าสูญหายนั้น (Imputation)

วิธีการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล

1) **ตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูล** เป็นการตรวจสอบรายละเอียดต่าง ๆ ว่ามีการเก็บและบันทึกครบถ้วนที่กำหนดหรือไม่
2) **ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล** เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่าว่ามีการบันทึกมาถูกต้องหรือไม่ โดยแบ่งการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ดังต่อไปนี้
   - การตรวจสอบความแนบนัยภายใน (Internal Consistency) คือ ตรวจสอบว่าข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันมีความสอดคล้องกันหรือไม่
   - การตรวจสอบแนบนัยภายนอก (External Consistency) คือ ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยอาศัยความรู้ความชำนาญหรือสถานการณ์ภายนอกมาช่วยในการพิจารณา

ตรวจสอบความผิดปกติของข้อมูล (Outlier)

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลอาจทำให้ได้ข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ (Outlier) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีค่าแยกออกจากกลุ่มหรือแตกต่างไปจากข้อมูลอื่น ๆ โดยความผิดปกติของข้อมูลเกิดขึ้นจาก 2 สาเหตุ 1) กลุ่มตัวอย่างมีความผิดปกติหรือแตกต่างไปจากกลุ่มจริง หรือ 2) อาจเกิดจากการจดบันทึกข้อมูลหรือการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ผิดพลาด ผลของข้อมูลที่มีค่าผิดปกติอาจทำให้ผลการวิเคราะห์มีนัยสำคัญทางสถิติทั้งที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หรือผลการวิเคราะห์ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้งที่มีนัยสำคัญทางสถิติ การตรวจสอบค้นหาค่าผิดปกติมีอยู่หลายวิธี เช่น

- การคำนวณคะแนนมาตรฐาน โดยยึดเกณฑ์คะแนนมาตรฐาน |3| ขึ้นไปจึงถือว่าข้อมูลนั้นเป็นค่าผิดปกติ
- การคำนวณคะแนนเฉลี่ยเมื่อหักข้อมูลคะแนนนั้นออก แล้วคำนวณความแตกต่างระหว่างคะแนนดิบค่านั้นกับคะแนนเฉลี่ย ถ้าผลต่างมีค่าแตกต่างไปจากค่าอื่น ๆ แสดงว่าเกิดค่าผิดปกติ

หากค่าผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นเป็นค่าที่เป็นไปไม่ได้หรือเกิดจากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ผิดพลาดอาจจะเลือกขจัดค่าผิดปกตินั้นออกจากการวิเคราะห์ และหากพิสูจน์ได้ว่าค่าผิดปกตินั้นเกิดจากความผิดปกติของกลุ่มตัวอย่างจริง ควรเลือกใช้สถิติวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับข้อมูลนั้น

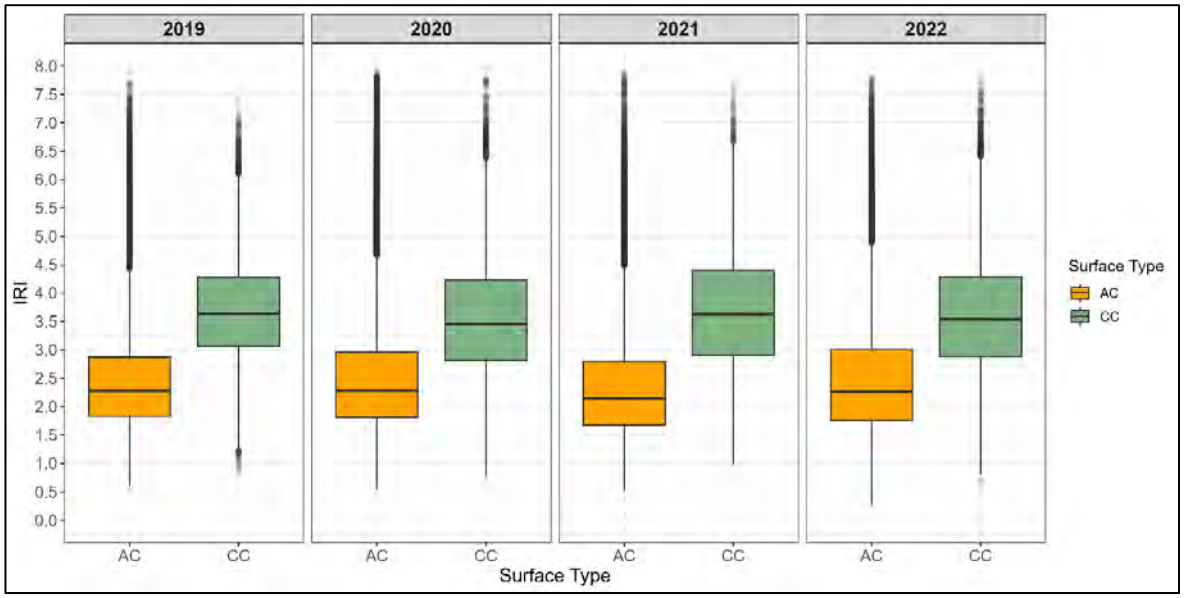
3.2.5.1 ตรวจสอบความถูกต้องและผิดปกติของข้อมูลจากฐานข้อมูลเดิม

ที่ปรึกษาดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องและความผิดปกติของข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากตอนควบคุมที่ทำการแบ่งช่วงทางเป็นตอนควบคุมย่อยทุก ๆ 100 เมตร

โดยทำการตรวจสอบข้อมูลทั้งหมด 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความเรียบของถนน (IRI) ความแข็งแรงของถนน (SCI) ความเสียหายของถนน (Road Distress) ความต้านทานการลื่นไถลของถนน (IFI) ดังนี้

- **ความเรียบของถนน (IRI)**

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องและความผิดปกติของข้อมูล IRI โดยแยกตามปีและประเภทของผิวทาง แสดงดังรูปที่ 3-136



รูปที่ 3-136 ข้อมูล IRI ในแต่ละปีแบ่งตามประเภทผิวทาง

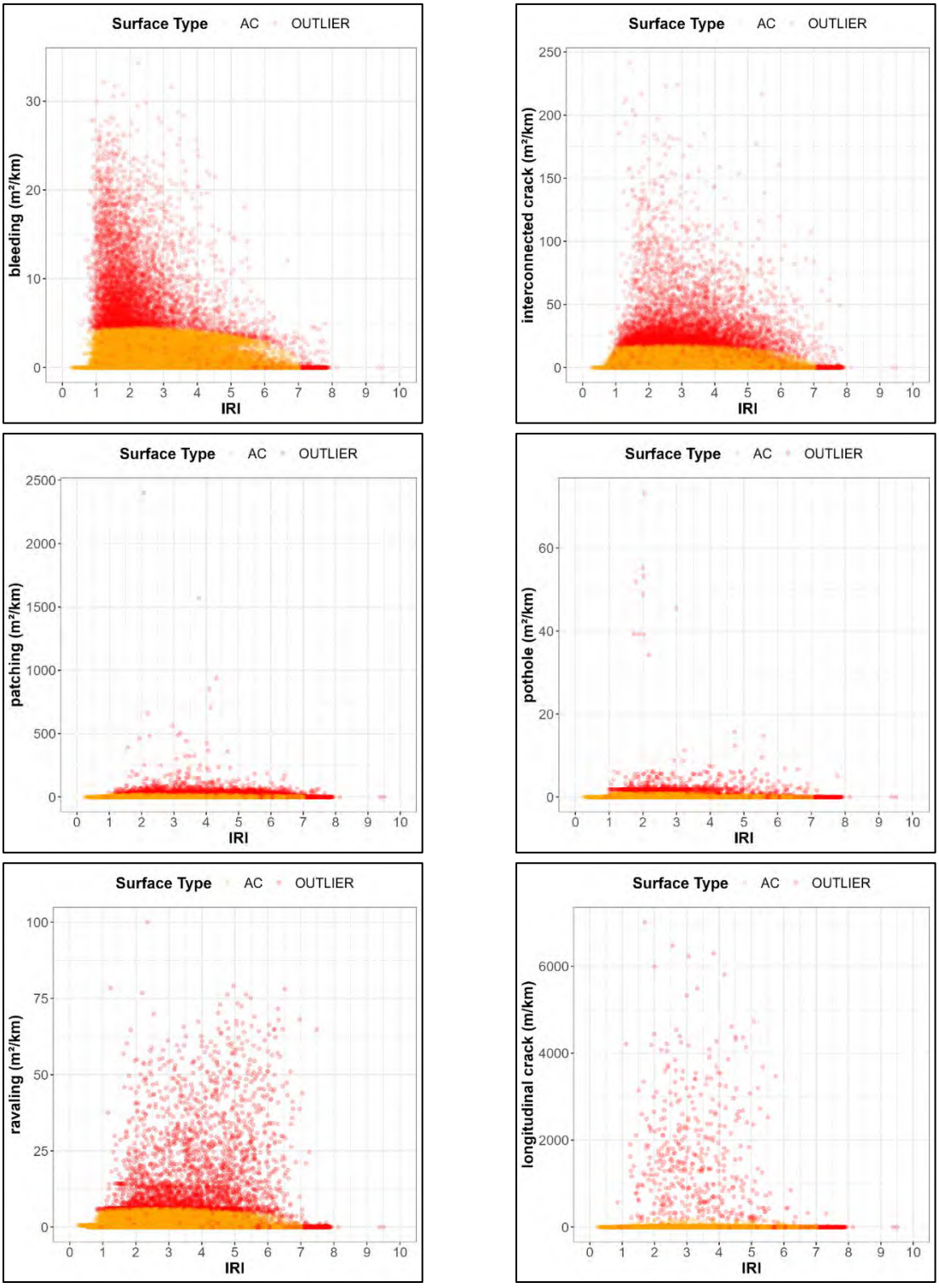
จากรูปที่ 3-136 จะเห็นว่าค่ากลางของ IRI ผิวทางลาดยางจะอยู่ที่ประมาณ 2.14 - 2.28 และผิวทางคอนกรีตอยู่ที่ประมาณ 3.45 - 3.63

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบความผิดปกติของข้อมูล IRI กับความเสียหายของถนน (Road Distress) เนื่องจากเป็นข้อมูลที่เก็บจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลชนิดเดียวกัน โดยใช้วิธี Mahalanobis ซึ่งได้ผลลัพธ์ แบ่งตามประเภทผิวทาง แสดงดังตารางที่ 3-16

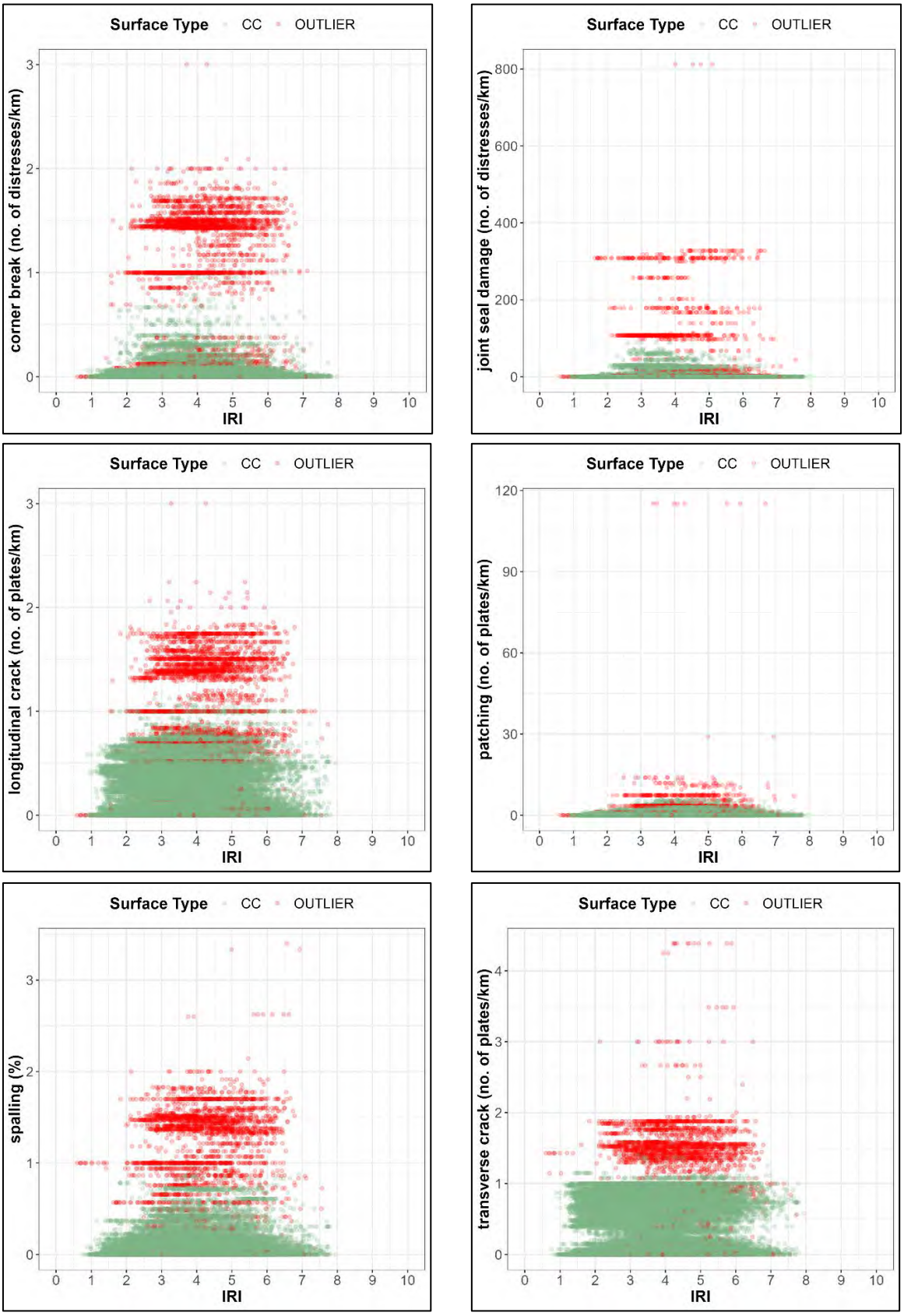
ตารางที่ 3-16 ปริมาณข้อมูลผิดปกติของข้อมูล IRI และความเสียหายของถนนจากวิธี Mahalanobis

ชนิดผิวทาง	ปริมาณข้อมูลทั้งหมด (กม.)	ปริมาณข้อมูลผิดปกติ (กม.)	ร้อยละ (%)
ผิวทางลาดยาง	108,568.4	1,974.1	1.8
ผิวทางคอนกรีต	8,969.4	489	5.4

จากตารางที่ 3-16 สามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟของผิวทางลาดยางได้แสดงดังรูปที่ 3-137 และผิวทางคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 3-138 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ข้อมูลผิดปกติที่เกิดขึ้น เป็นข้อมูลที่ไม่น่าจะเป็นไปได้ ในเบื้องต้นที่ปรึกษาจึงจะคัดกรองข้อมูลดังกล่าวออกก่อนการนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 3-137 ข้อมูลผิดปกติของข้อมูล IRI กับความเสียหายของถนนที่ได้จากวิธี Mahalanobis ของผิวทางลาดยาง



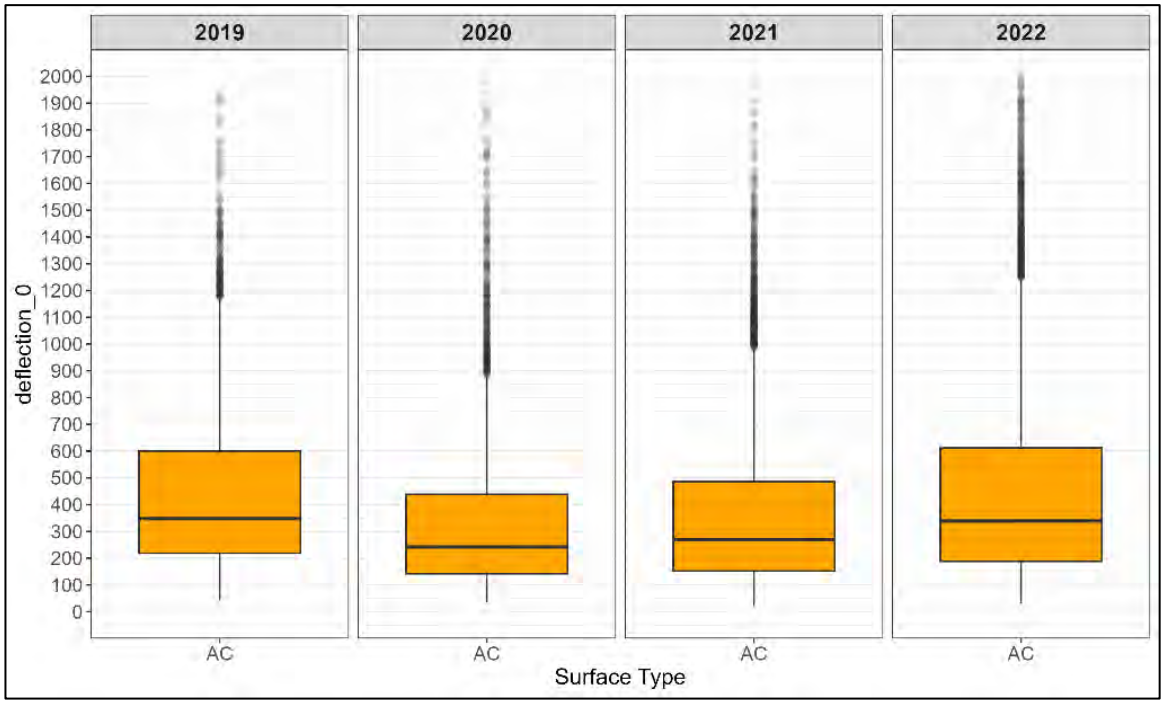
รูปที่ 3-138 ข้อมูลผิดปกติของข้อมูล IRI กับความเสียหายของถนนที่ได้จากวิธี Mahalanobis ของผิวทางคอนกรีต

- **ความแข็งแรงของถนน (SCI)**

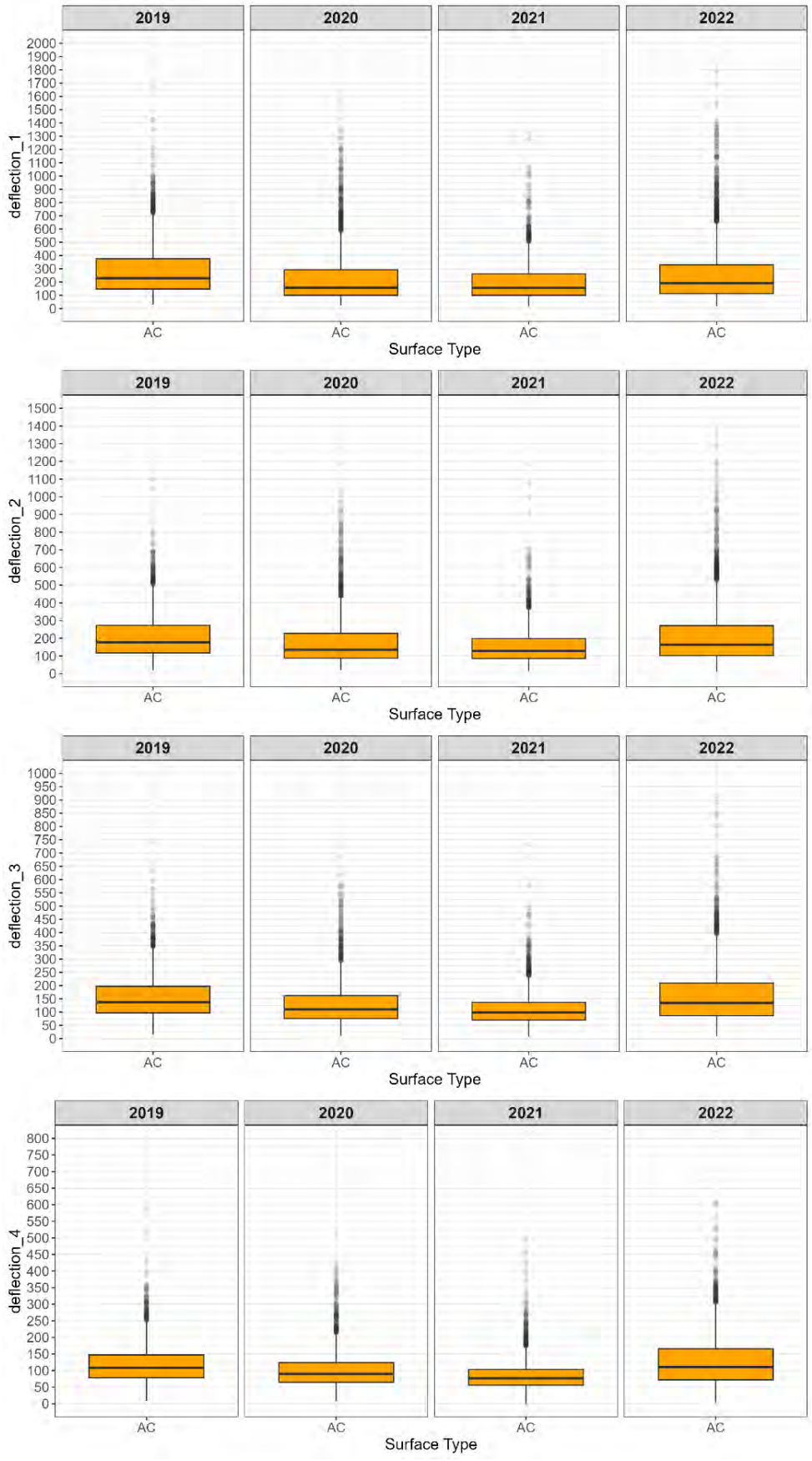
ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องและความผิดปกติของข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณค่า SCI เนื่องจากในการคำนวณค่า SCI ต้องใช้ค่าในพารามิเตอร์ในการคำนวณหลายตัว ในเบื้องต้นที่ปรึกษาจึงเลือกค่า Deflection มาใช้ในการตรวจสอบ โดยค่า Deflection แต่ละค่าจะแบ่งแนวระยะการเก็บข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3-17 โดยแยกตามปีและประเภทของผิวทาง แสดงดังรูปที่ 3-139 ถึง รูปที่ 3-141

ตารางที่ 3-17 รายละเอียดตัวแปร Deflection แบ่งตามระยะการเก็บข้อมูล

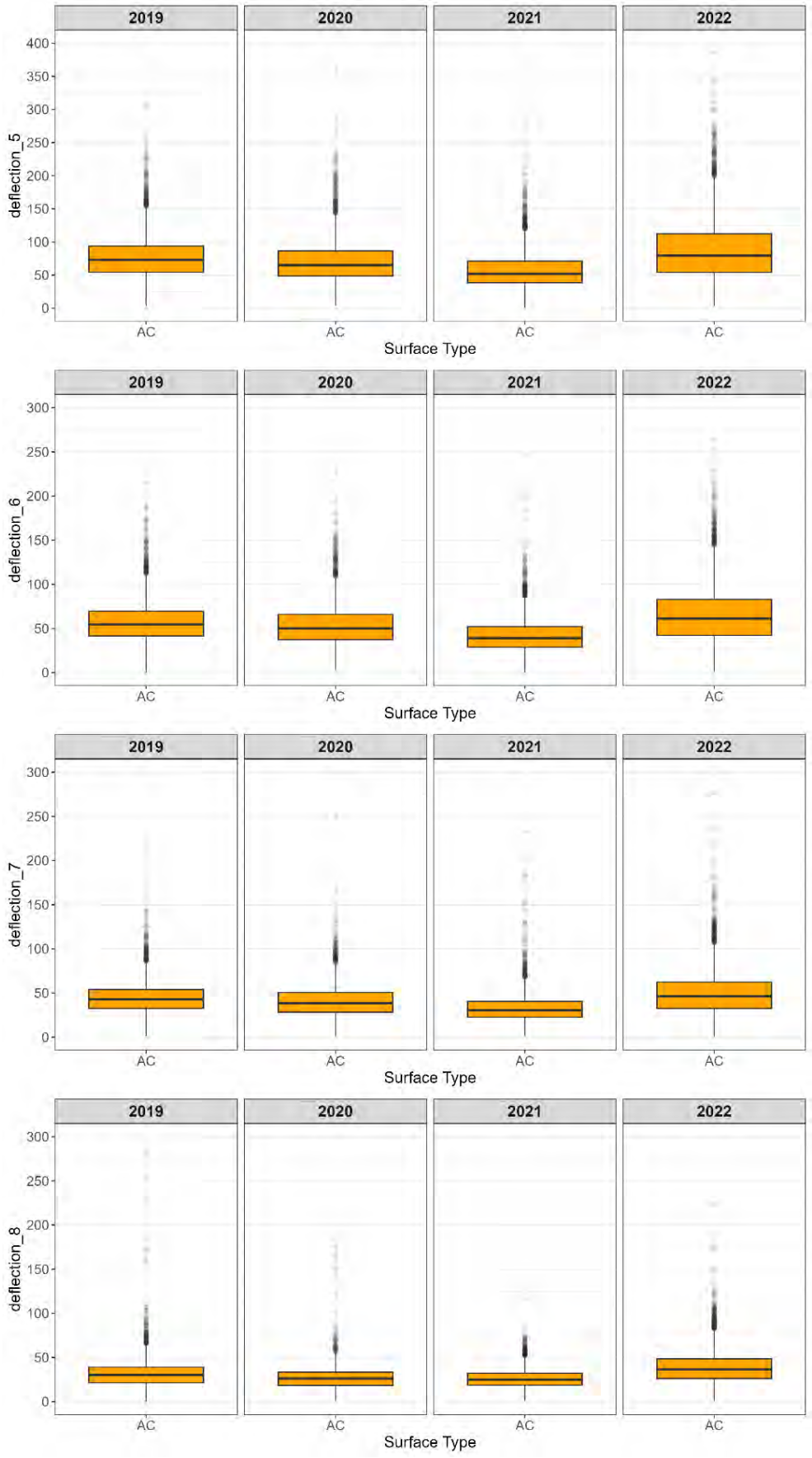
ตัวแปร	ตำแหน่ง
Deflection_0	ระยะ 0 มิลลิเมตร
Deflection_1	ระยะ 200 มิลลิเมตร
Deflection_2	ระยะ 300 มิลลิเมตร
Deflection_3	ระยะ 450 มิลลิเมตร
Deflection_4	ระยะ 600 มิลลิเมตร
Deflection_5	ระยะ 900 มิลลิเมตร
Deflection_6	ระยะ 1,200 มิลลิเมตร
Deflection_7	ระยะ 1,500 มิลลิเมตร
Deflection_8	ระยะ 1,800 มิลลิเมตร



รูปที่ 3-139 ข้อมูล Deflection_1 ในแต่ละปีของผิวทางลาดยาง



รูปที่ 3-140 ข้อมูล Deflection_1 ถึง Deflection_4 ในแต่ละปีของผิวทางลาดยาง



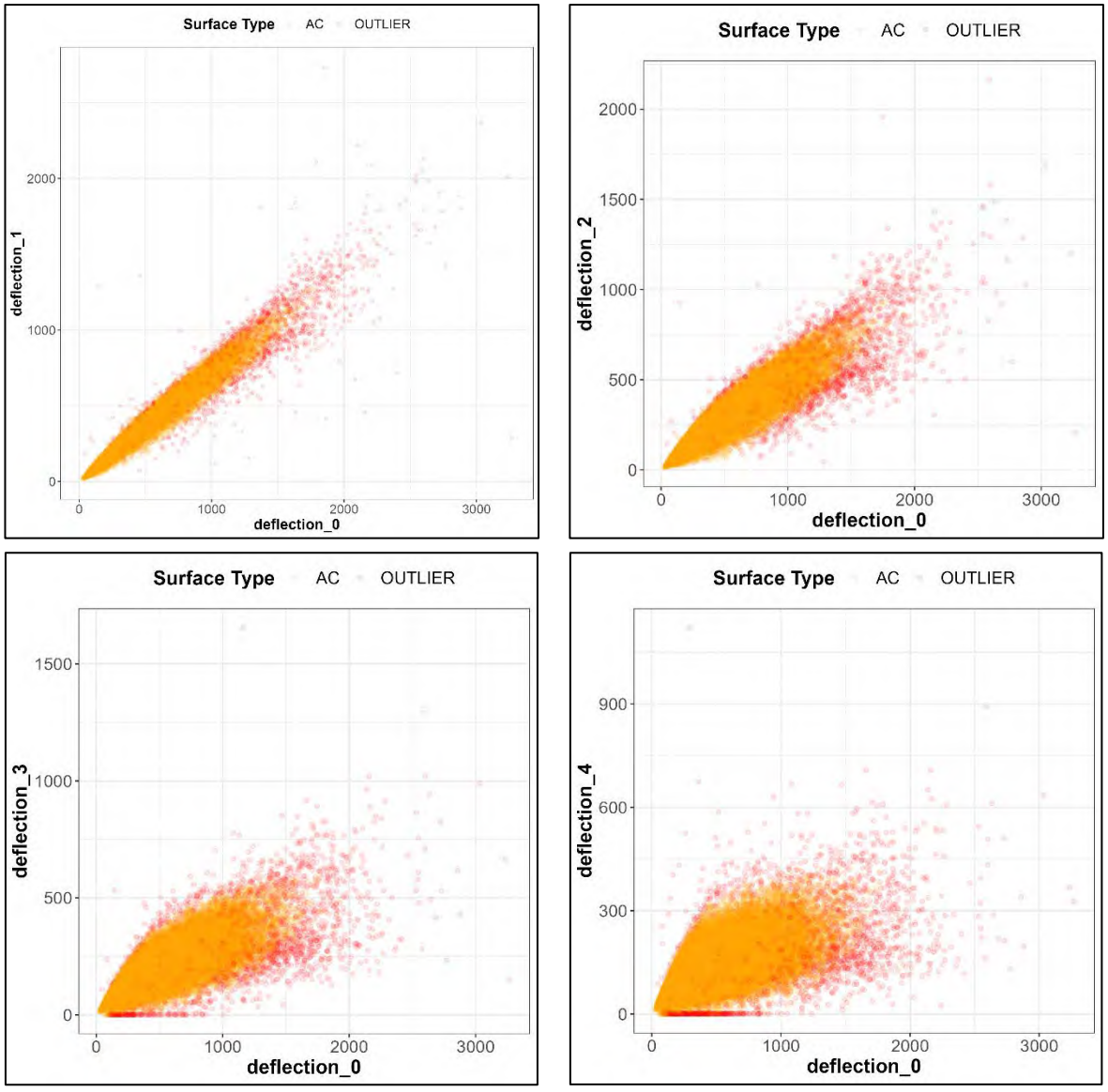
รูปที่ 3-141 ข้อมูล Deflection_5 ถึง Deflection_8 ในแต่ละปีของผิวทางลาดยาง

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบความผิดปกติของข้อมูล Deflection ที่นำมาใช้ในการคำนวณค่า SCI โดยใช้วิธี Mahalanobis ซึ่งได้ผลลัพธ์ แบ่งตามประเภทผิวทาง แสดงดังตารางที่ 3-18

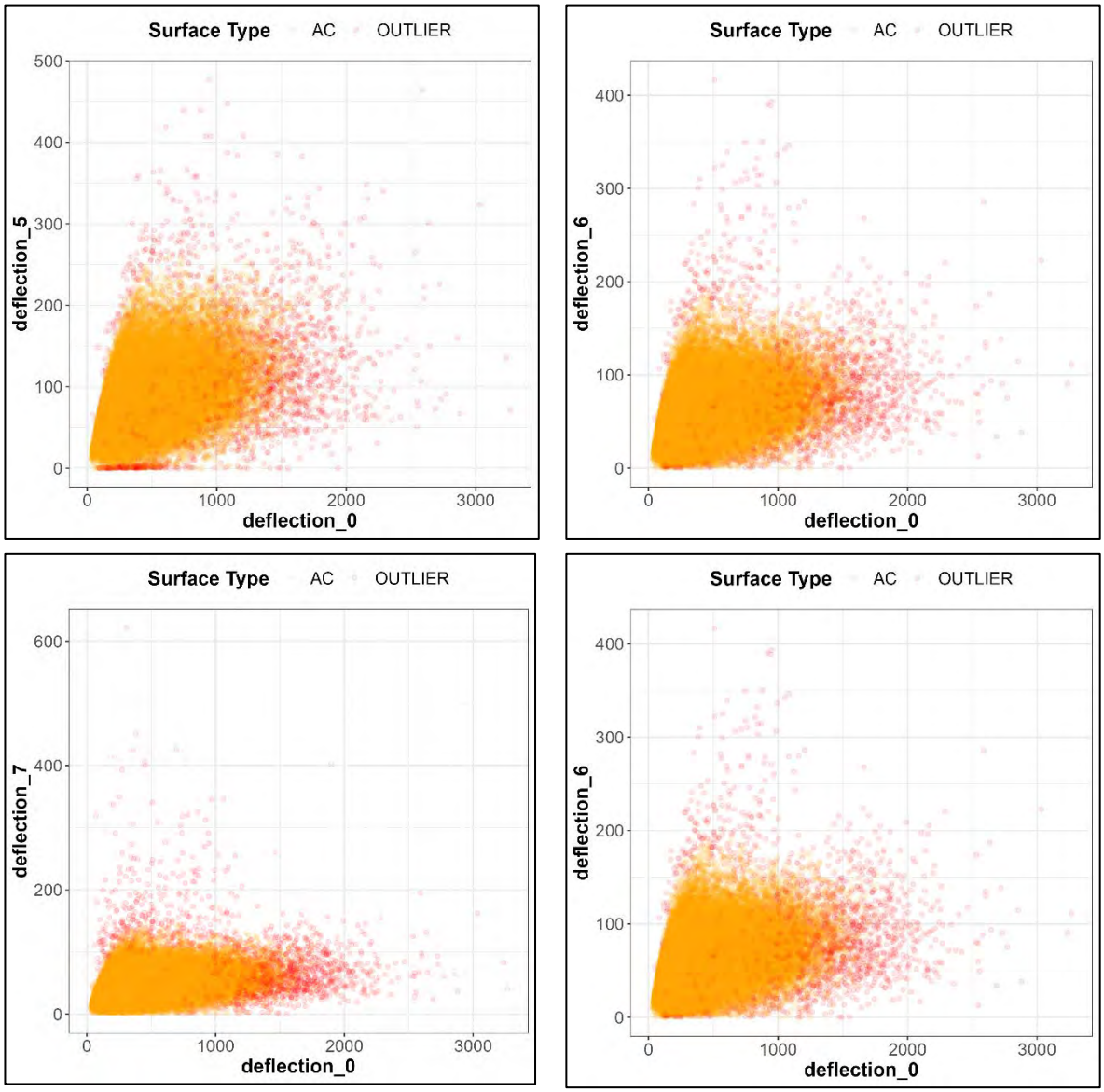
ตารางที่ 3-18 ปริมาณข้อมูลผิดปกติของข้อมูล Deflection จากวิธี Mahalanobis

ชนิดผิวทาง	ปริมาณข้อมูลทั้งหมด (กม.)	ปริมาณข้อมูลผิดปกติ (กม.)	ร้อยละ (%)
ผิวทางลาดยาง	47,640	2,149	4.5

จากตารางที่ 3-18 สามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟได้ แสดงดังรูปที่ 3-142 ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้อมูลผิดปกติที่เกิดขึ้น เป็นข้อมูลที่ไม่น่าจะเป็นไปได้ ในเบื้องต้นที่ปรึกษาจึงจะคัดกรองข้อมูลดังกล่าวออกก่อนการนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง



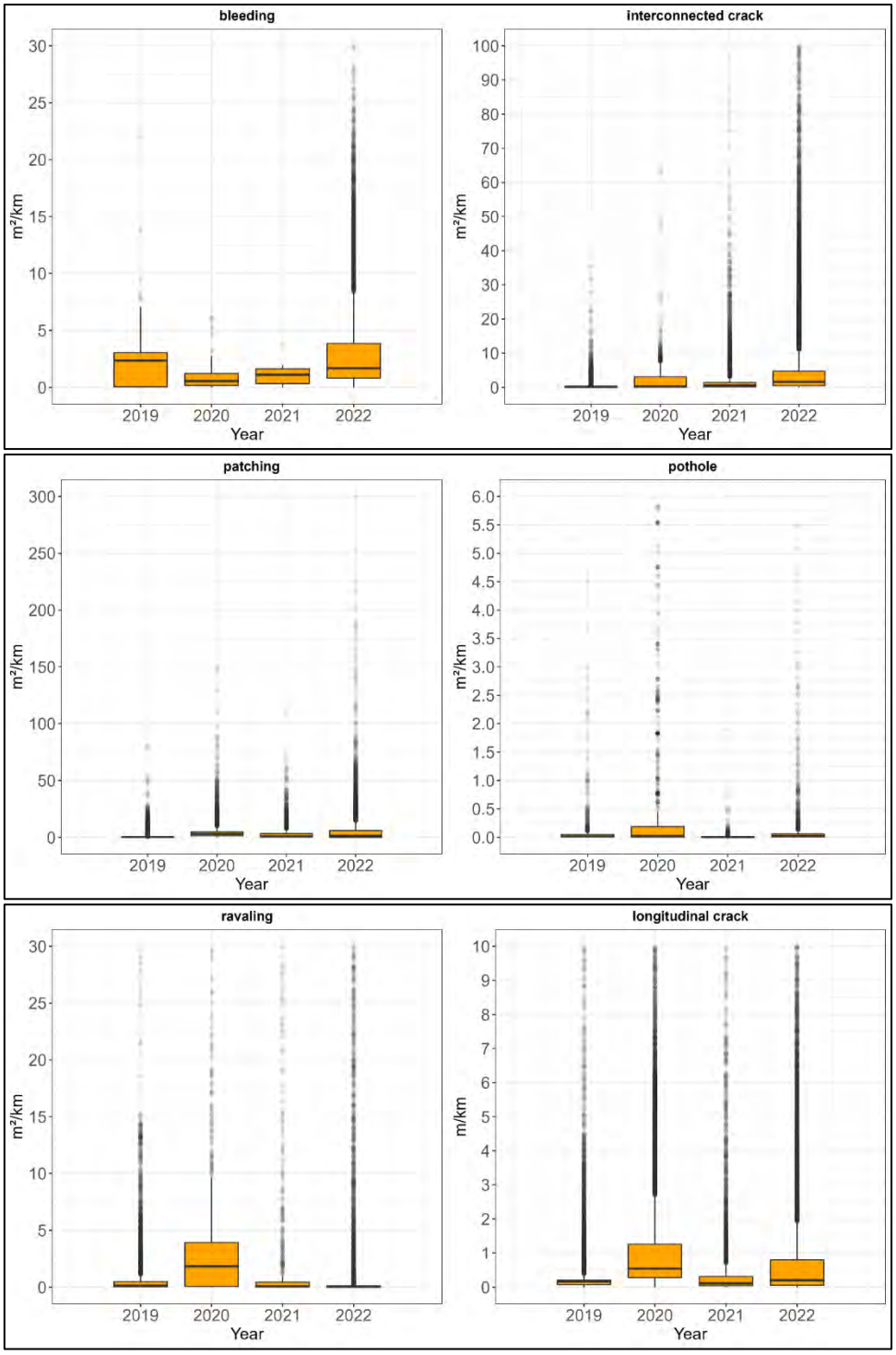
รูปที่ 3-142 ข้อมูลผิดปกติของข้อมูล deflection ที่ได้จากวิธี Mahalanobis



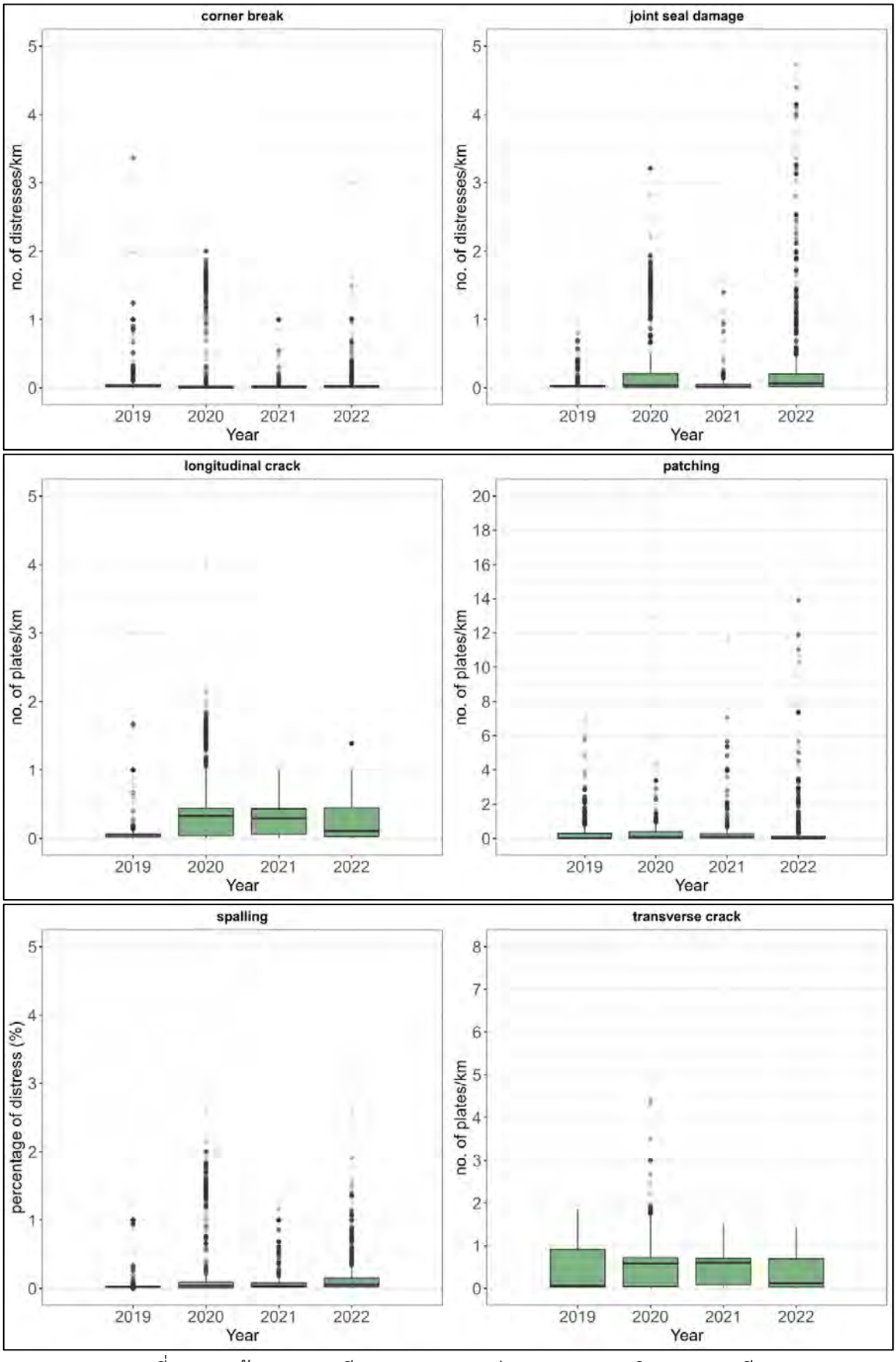
รูปที่ 3-143 ข้อมูลผิดปกติของข้อมูล deflection ที่ได้จากวิธี Mahalanobis (ต่อ)

- **ความเสียหายของถนน (Road Distress)**

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องและความผิดปกติของข้อมูลความเสียหายของถนน โดยแยกตามปีและประเภทของผิวทาง โดยแบ่งเป็นความเสียหายของผิวทางลาดยาง แสดงดังรูปที่ 3-144 และความเสียหายของผิวทางคอนกรีต แสดงดังรูปที่ 3-145 และส่วนในคัดกรองข้อมูลปกติ ได้พิจารณาควบคู่ไปกับข้อมูล IRI เนื่องจากเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์เดียวกัน แสดงดังตารางที่ 3-19 ในส่วนของข้อมูล IRI



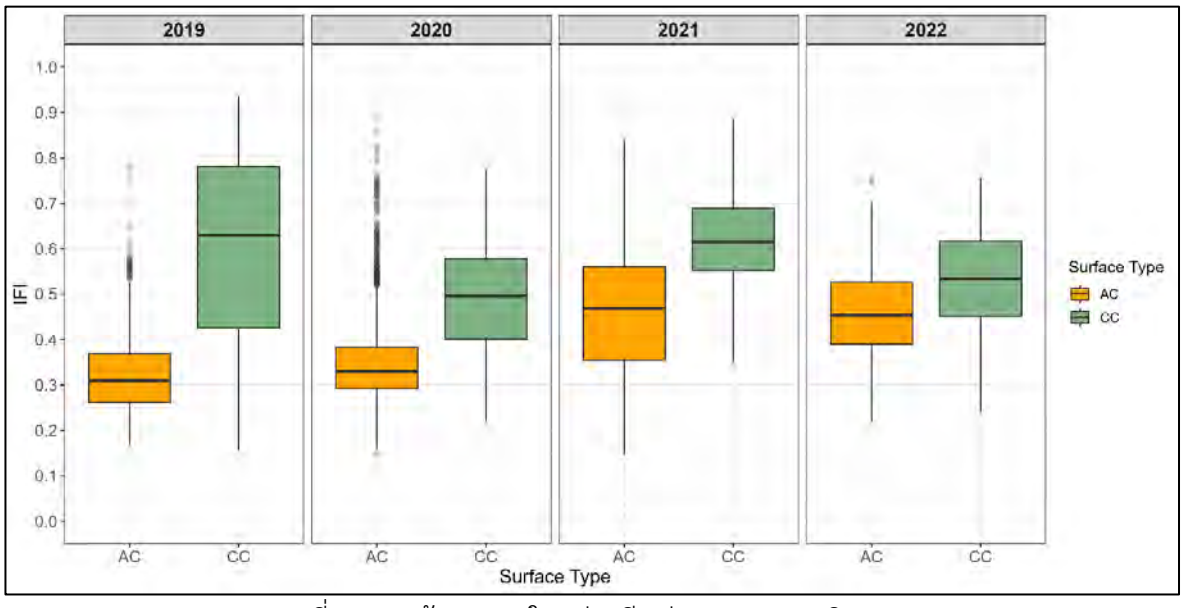
รูปที่ 3-144 ข้อมูลความเสียหายของถนนแต่ละประเภทของผิวทางลาดยาง



รูปที่ 3-145 ข้อมูลความเสียหายของถนนแต่ละประเภทของผิวทางคอนกรีต

- **ความต้านทานการลื่นไถล (IFI)**

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องและความผิดปกติของข้อมูล IFI โดยแยกตามปีและประเภทของผิวทาง แสดงดังรูปที่ 3-146



รูปที่ 3-146 ข้อมูล IFI ในแต่ละปีแบ่งตามประเภทผิวทาง

จากรูปที่ 3-146 จะเห็นว่าค่า IFI ของผิวทางคอนกรีตของปี 2019 - 2022 มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และค่า IFI ของผิวทางลาดยางในปี 2021 - 2022 มีค่ามากกว่าปี 2019 - 2020 ซึ่งอาจเกิดได้จาก 4 สาเหตุที่ส่งผลทำให้ค่า IFI มีค่าสูงขึ้นดังนี้

- มีการซ่อมถนน
- มีการทำถนนใหม่
- มีการเปลี่ยนอุปกรณ์เก็บข้อมูล
- ข้อมูลแต่ละปีไม่ใช้ข้อมูลที่ตำแหน่งเดียวกัน

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาข้อมูลตามเกณฑ์การซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงจากค่าดัชนี IFI ได้ผลลัพธ์ แสดงดังตารางที่ 3-19

ตารางที่ 3-19 การตรวจสอบปริมาณข้อมูล IFI ตามเกณฑ์การซ่อมบำรุงของกรมทางหลวง

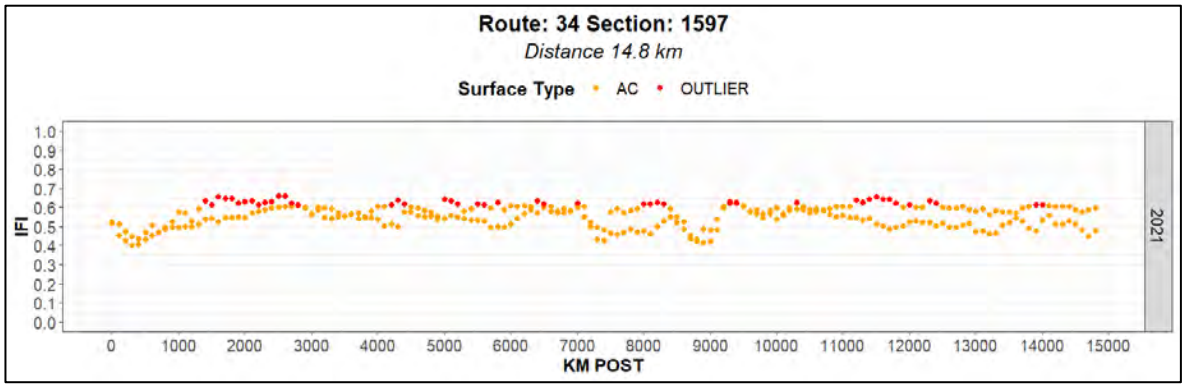
เกณฑ์ระดับ	ค่า IFI	จำนวนร้อยละข้อมูล (%)
ระดับปกติ	> 0.32	67.3
ระดับเฝ้าระวัง	0.25-0.32	24.7
ระดับปรับปรุงแก้ไข	< 0.25	8.0

นอกจากนี้ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบความผิดปกติของข้อมูล IFI โดยการนำค่า Median Absolute Deviation (MAD) มาช่วยในการคัดกรองข้อมูล ได้ผลลัพธ์แบ่งตามประเภทผิวทาง แสดงดังตารางที่ 3-20

ตารางที่ 3-20 ปริมาณข้อมูลผิดปกติของข้อมูล Deflection โดยการนำมาค่า Median Absolute Deviation (MAD) มาช่วยในคัดกรองข้อมูล

ชนิดผิวทาง	ปริมาณข้อมูลทั้งหมด (กม.)	ปริมาณข้อมูลผิดปกติ (กม.)	ร้อยละ (%)
ผิวทางลาดยาง	712	24.4	3.4
ผิวทางคอนกรีต	162.8	0	0

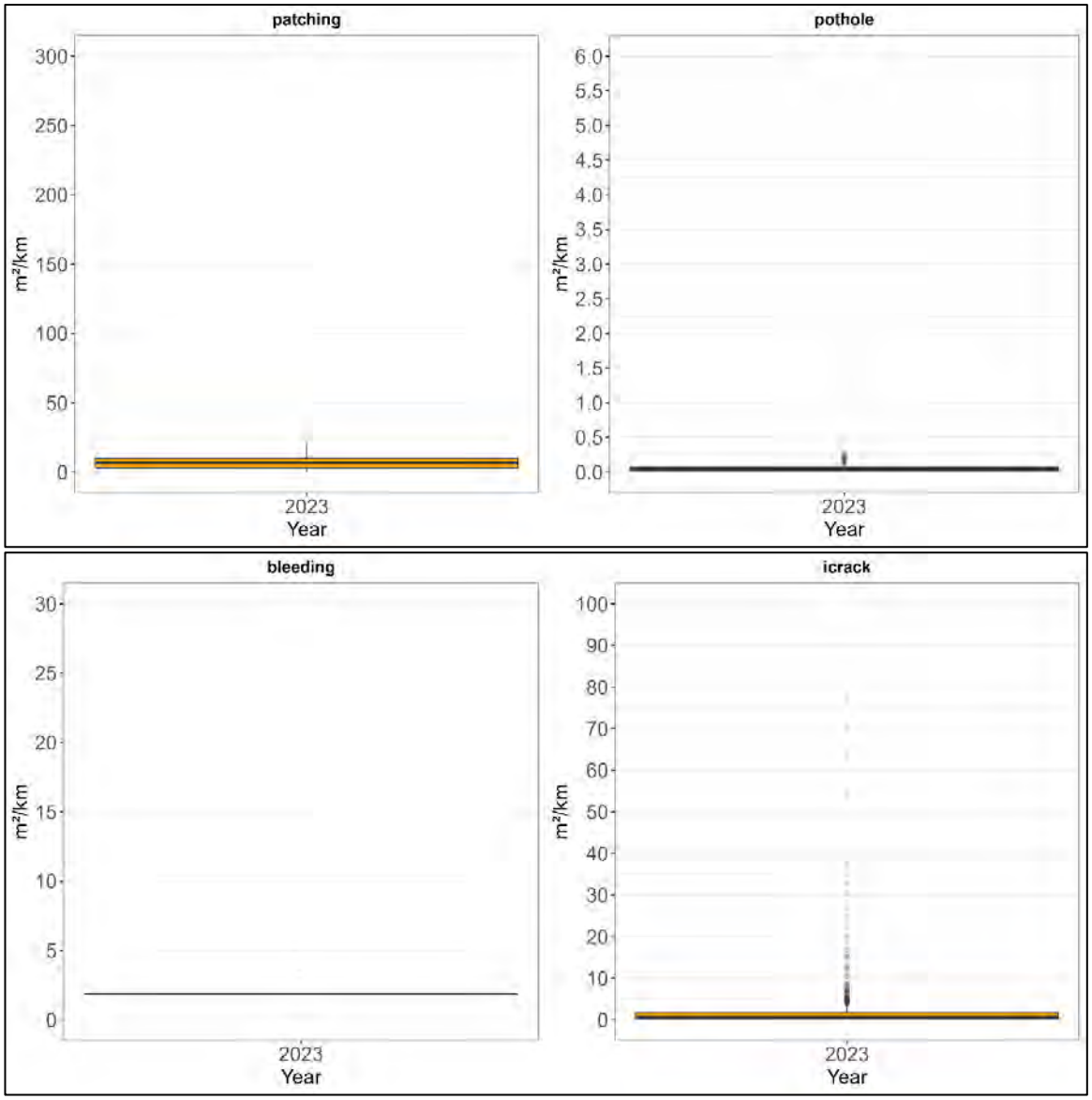
จากตารางที่ 3-20 สามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟได้แสดงดังรูปที่ 3-147 จะเห็นได้ว่าข้อมูลผิดปกติที่เกิดขึ้น เป็นข้อมูลที่น่าจะเป็นไปได้ ในเบื้องต้นที่ปรึกษาจึงไม่ได้ตัดข้อมูลดังกล่าวออกก่อนนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง

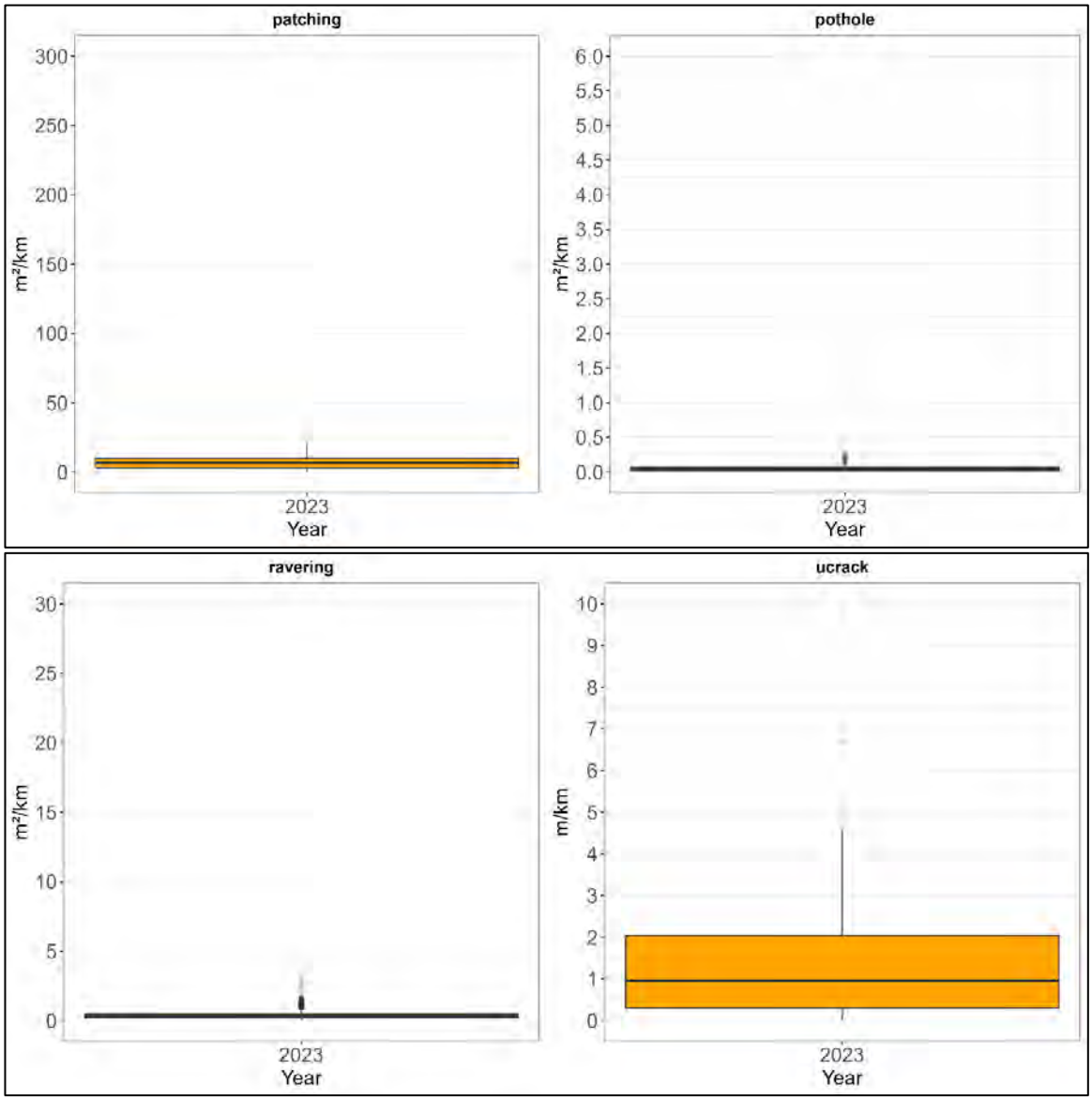


รูปที่ 3-147 ข้อมูลผิดปกติของข้อมูล IFI ที่ได้จากการนำมาค่า Median Absolute Deviation (MAD) มาช่วยในคัดกรองข้อมูล

3.2.5.2 ตรวจสอบความถูกต้องและผิดปกติของข้อมูลสำรวจ

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องและความผิดปกติของข้อมูล โดยแยกตามประเภทผิวทาง แสดงดังรูปที่ 3-148 และ รูปที่ 3-149



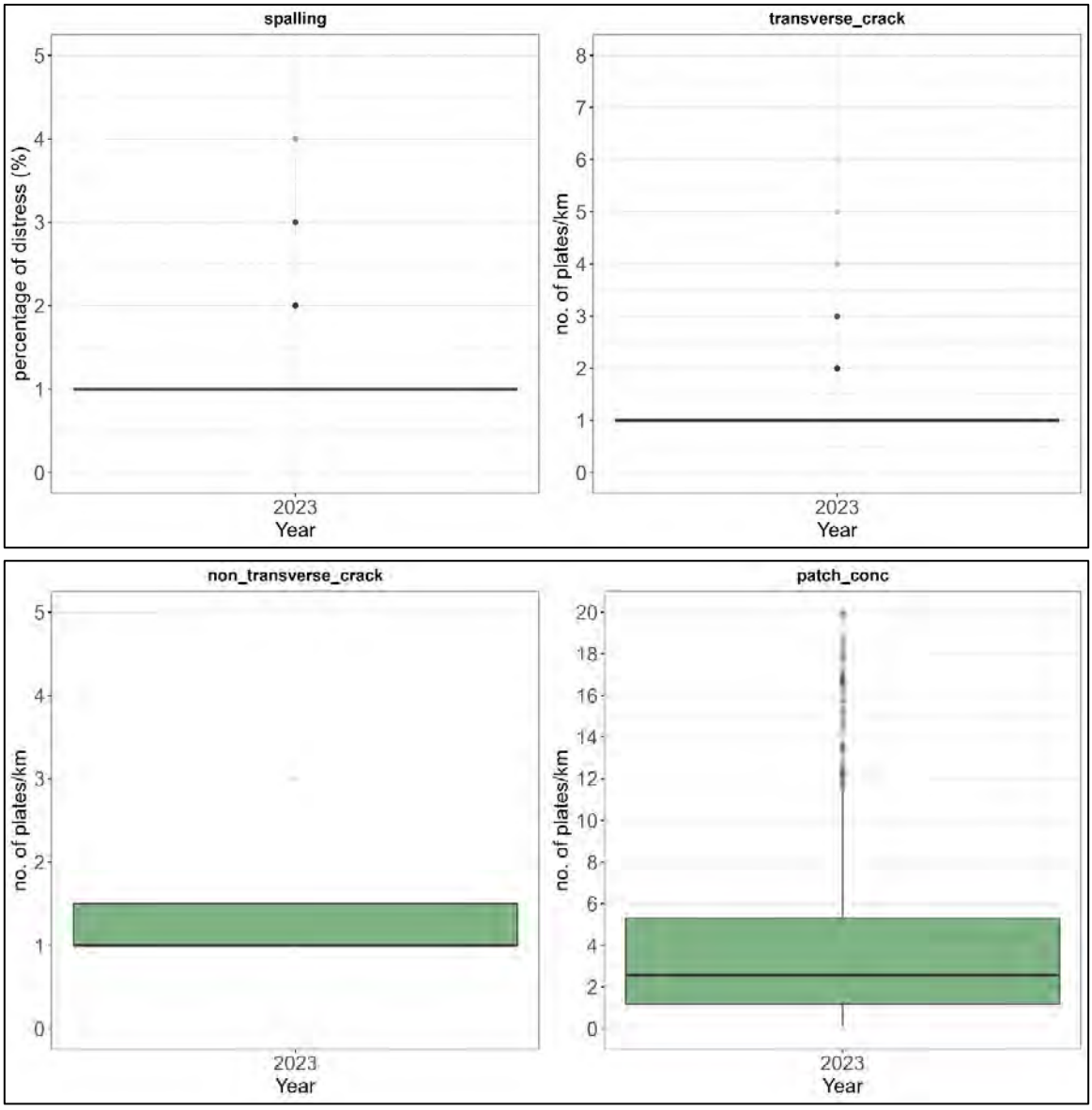


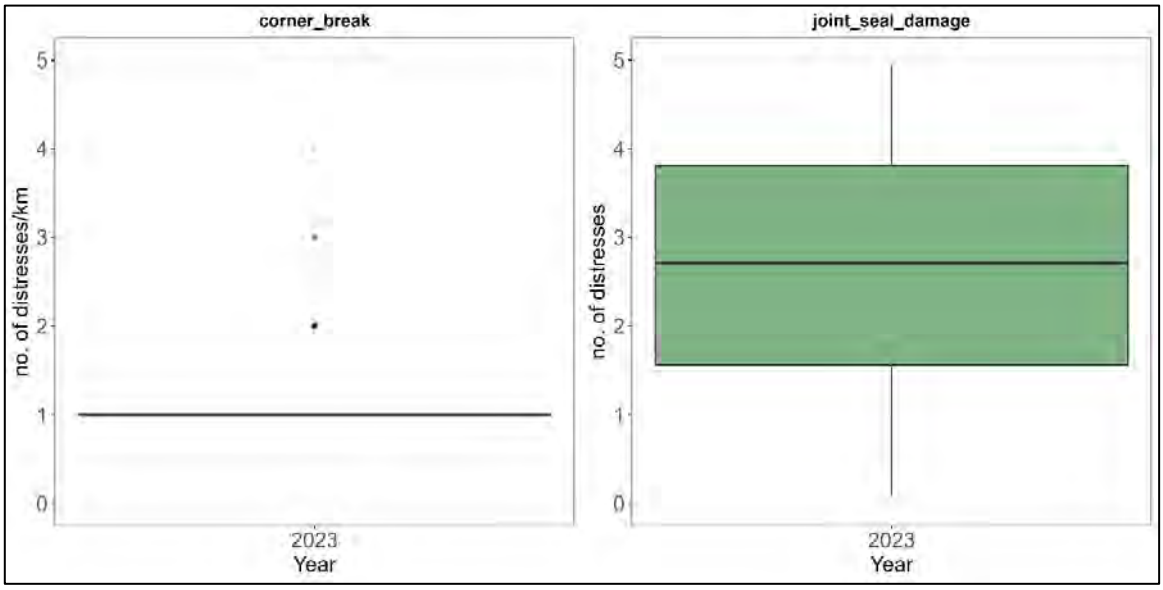
รูปที่ 3-148 ข้อมูลสำรวจ Road Distress สำหรับผิวทางลาดยาง

จากรูปที่ 3-148 เป็นความเสียหายสำหรับประเภทผิวทางลาดยาง โดยพบว่ามีความผิดปกติของข้อมูลดังต่อไปนี้

- ความเสียหายของผิวทางประเภท Bleeding ไม่พบความผิดปกติของข้อมูล
- ความเสียหายของผิวทางประเภท Icrack พบความผิดปกติของข้อมูลประมาณร้อยละ 1
- ความเสียหายของผิวทางประเภท Ucrack พบความผิดปกติของข้อมูลประมาณร้อยละ 1
- ความเสียหายของผิวทางประเภท Ravering พบความผิดปกติของข้อมูลประมาณร้อยละ 1

- ความเสียหายของผิวทางประเภท Patching พบความผิดปกติของข้อมูลประมาณร้อยละ 1
- ความเสียหายของผิวทางประเภท Pothole พบความผิดปกติของข้อมูลประมาณร้อยละ 1





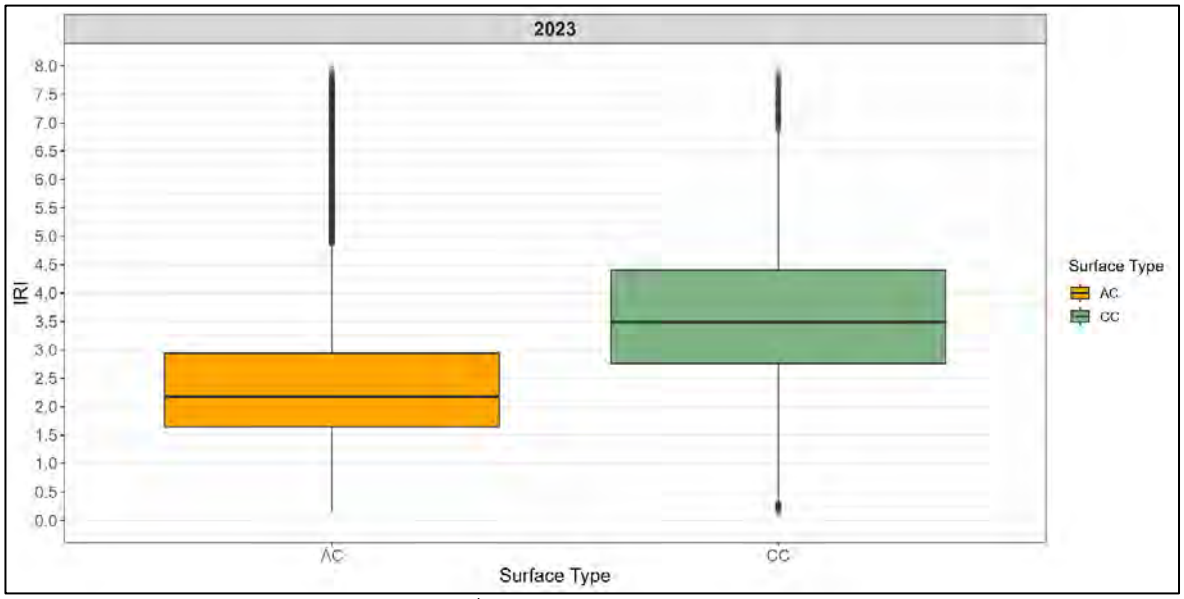
รูปที่ 3-149 ข้อมูลสำรวจ Road Distress สำหรับผิวทางคอนกรีต

จากรูปที่ 3-149 เป็นความเสียหายสำหรับประเภทผิวทางคอนกรีต โดยพบว่ามีความผิดปกติของข้อมูลดังต่อไปนี้

- ความเสียหายของผิวทาง Corner Break พบความผิดปกติของข้อมูลประมาณร้อยละ 1
- ความเสียหายของผิวทาง Joint Seal Damage พบความผิดปกติของข้อมูลประมาณร้อยละ 1
- ความเสียหายของผิวทาง Non Tranverse Crack ไม่พบความผิดปกติของข้อมูล 1
- ความเสียหายของผิวทาง Spalling พบความผิดปกติของข้อมูลประมาณร้อยละ 1
- ความเสียหายของผิวทาง Patch Conc พบความผิดปกติของข้อมูลประมาณร้อยละ 1
- ความเสียหายของผิวทาง Tranverse Crack พบความผิดปกติของข้อมูลประมาณร้อยละ 1

ความเรียบของถนน (IRI)

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องและความผิดปกติของข้อมูล โดยแยกตามประเภทผิวทาง แสดงดังรูปที่ 3-150

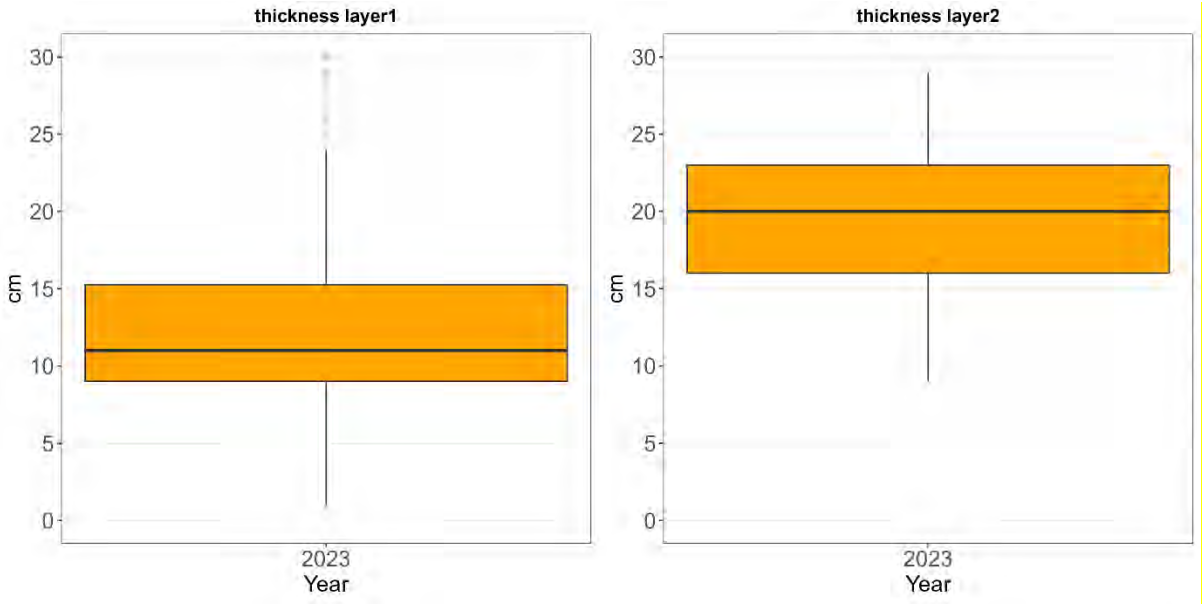


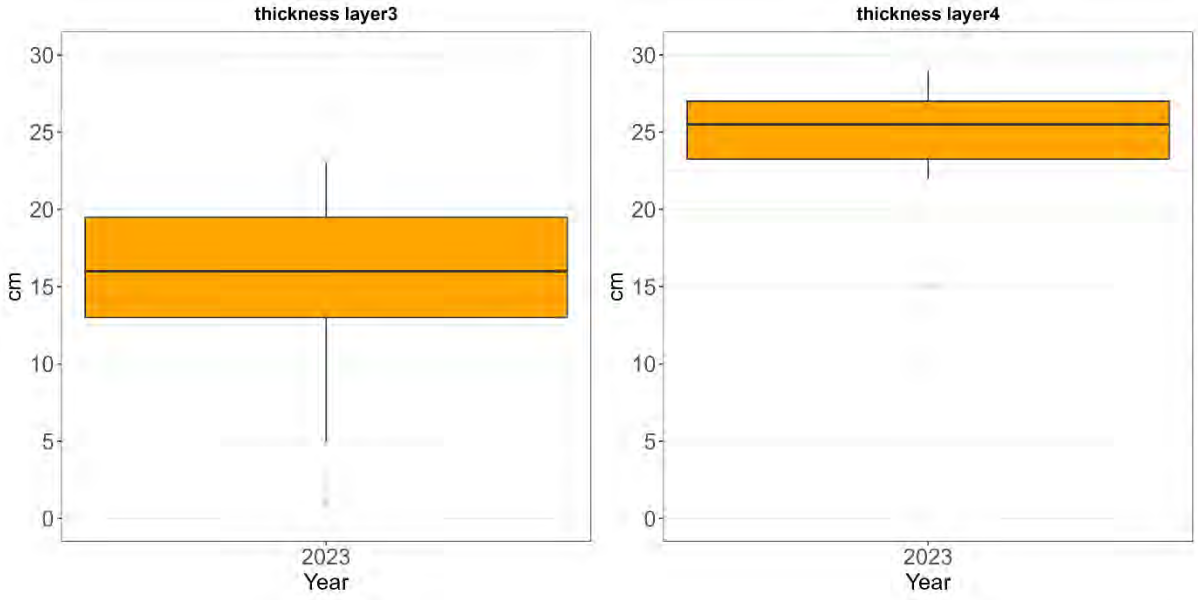
รูปที่ 3-150 ข้อมูลสำรวจ IRI

จากรูปที่ 3-150 สำหรับประเภทผิวทางลาดยาง พบว่าค่ากลางข้อมูลสำรวจ IRI มีค่าเท่ากับ 2.18 m/km และพบจำนวนข้อมูลผิดปกติอยู่ที่ประมาณร้อยละ 4.67 ในส่วนของประเภทผิวทางคอนกรีต พบว่าค่ากลางข้อมูลสำรวจ IRI มีค่าเท่ากับ 3.49 m/km และพบจำนวนข้อมูลผิดปกติอยู่ที่ประมาณร้อยละ 2.27

ความหนาของโครงสร้างถนน

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องและความผิดปกติของข้อมูล โดยแยกตามโครงสร้างของชั้นทาง แสดงดังรูปที่ 3-151





รูปที่ 3-151 ข้อมูลความหนาของโครงสร้างถนน

บทที่ 4
งานวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของถนน

4.1 งานวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน

ที่ปรึกษาได้วิเคราะห์สมรรถนะ (Performance Analysis) และประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis) ของโครงสร้างถนนในระบบ iPAVEs ของสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง โดยมีรายละเอียดของการวิเคราะห์ทั้งนี้ วิธีการวิเคราะห์ทั้งหมดต้องได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการบริหารโครงการก่อนการดำเนินการมีดังนี้

4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะของโครงสร้างถนน (Pavement Performance Analysis) ทางสถิติ และวิศวกรรม

1) วิเคราะห์ดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลักของโครงสร้างถนนทั้ง 4 ด้าน

โดยการนี้ ที่ปรึกษาได้วิเคราะห์ข้อมูลดัชนีทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน ความเรียบของถนน ความเสียหายของผิวทาง และความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง ซึ่งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์คือข้อมูลในฐานข้อมูลในหัวข้อ 2.2 และข้อมูลจากงานสำรวจข้อมูลภาคสนามในหัวข้อที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดในแต่ละดัชนี ดังต่อไปนี้

- **ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (Structural Coefficient Index, SCI)**

ความแข็งแรงของโครงสร้างถนนพิจารณาจากค่าดัชนี Structural Coefficient Index (SCI) ซึ่งใช้ในการประเมินโครงสร้างถนน โดยจะเป็นค่าตัวเลขที่แสดงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของถนน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับข้อกำหนดการออกแบบ โดยในการคำนวณจะคำนวณจากวัสดุชั้นทาง และความหนาของชั้นต่าง ๆ ภายในโครงสร้างถนน SCI คำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความแข็งแรง ความหนาของชั้นผิวทางต่าง ๆ และน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ เมื่อเปรียบเทียบ SCI ที่คำนวณได้กับค่ามาตรฐานการออกแบบที่ระบุ วิศวกรจะสามารถประเมินความเพียงพอของโครงสร้างถนน และพิจารณาว่าถนนเส้นนั้นมีค่า SCI ตรงตามเกณฑ์ความแข็งแรงและความทนทานที่ต้องการหรือไม่ โดยปกติแล้วค่า SCI จะอยู่ระหว่าง 0 – 1 ซึ่งค่า SCI เท่ากับ 1 หมายถึงความแข็งแรงของโครงสร้างที่สำรวจมีค่าเท่ากับค่ามาตรฐานการออกแบบ สามารถคำนวณค่า SCI ได้ดังสมการที่ (4-1) และการคำนวณ SN_{eff} กับ SN_{eff} แสดงดังสมการที่ (4-2) ถึงสมการที่ (4-5)

$$SCI = \frac{SN_{eff}}{SN_{req}} \quad (4\text{-}1)$$

โดยที่ SN_{req} คือ Required Structural Number

SN_{eff} คือ Effective Structural Number

$$SN_{eff} = k_1 SIP^{k_2} H_p{}^{k_3} \quad (4\text{-}2)$$

$$SIP = D_0 - D_{1.5H_p} \quad (4\text{-}3)$$

โดยที่ k_1 คือ Regression Coefficients จากตารางที่ 4-1

k_2 คือ Regression Coefficients จากตารางที่ 4-1

k_3 คือ Regression Coefficients จากตารางที่ 4-1

H_p คือ ความหนาของถนนรวมทุกชั้น

SIP คือ Structural index of pavement

$D_{1.5H_p}$ คือ ค่า Surface Deflection ที่เก็บได้จากวิธี Falling Weight Distance ณ ตำแหน่ง 1.5 (H_p)

D_0 คือ ค่า Peak Deflection ที่เก็บได้จากวิธี Falling Weight Distance

ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์ k_1, k_2 และ k_3

Surface Type	k_1	k_2	k_3	r^2
Surface Seals	0.1165	-0.3248	0.8241	0.984
Asphalt Concrete	0.4728	-0.4810	0.7581	0.957

$$log(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36\, log(SN_{req} + 1) - 0.20 + \frac{log[\Delta PSI/(4.2-1.5)]}{0.4+[1094/(SN_{req}+1)^{5.19}]} + 2.32 log(M_R) - 8.07 \quad (4\text{-}4)$$

โดยที่ W_{18} คือ Equivalent Single Axle Load (ESAL)

Z_R คือ Standard Normal Deviation

S_0 คือ Combined standard error of the traffic and performance prediction

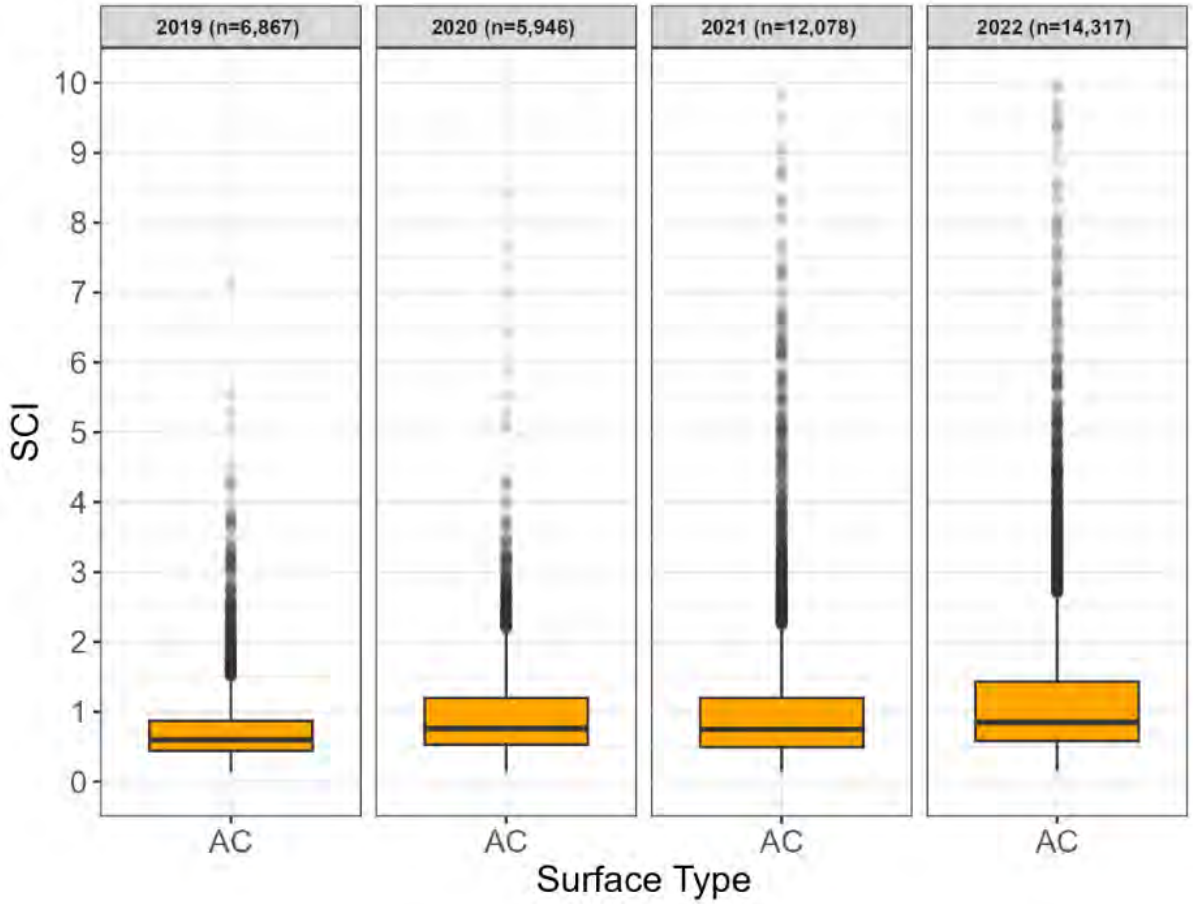
ΔPSI คือ Difference between the initial design serviceability index and the design terminal serviceability index

M_R คือ Resilient Modulus

$$M_R = 1500 \times \%CBR \quad (4\text{-}5)$$

โดยที่ %CBR = 5

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการคำนวณค่า SCI ได้ผลลัพธ์ในผิวทางลาดยางแสดงดังรูปที่ 4-1 และแสดงค่ากลาง ค่าที่ตำแหน่งเปอร์เซ็นไทล์ที่ 25 และตำแหน่งเปอร์เซ็นไทล์ที่ 75 แสดงดังตารางที่ 4-2



รูปที่ 4-1 ข้อมูล SCI แต่ละปีของผิวทางลาดยาง

ตารางที่ 4-2 รายละเอียดข้อมูล SCI แต่ละปีของผิวทางลาดยาง

ตำแหน่ง Percentile	ปี			
	2019	2020	2021	2022
25th Percentile	0.441	0.53	0.495	0.584
50th Percentile	0.599	0.761	0.748	0.847
75th Percentile	0.869	1.969	1.969	1.434

จากตารางที่ 4-2 จะเห็นได้ว่าในปี 2019 จะมีค่า SCI ที่ต่ำกว่าช่วงปีอื่น ในขณะที่ปี 2020 - 2022 จะมีค่า SCI ที่ใกล้เคียงกัน

- **ความเรียบของถนน (International Roughness Index , IRI)**

ความเรียบของถนนพิจารณาจากค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) ซึ่งคำนวณจากค่าระดับสะสมตามยาวของถนน (Longitudinal Road Profile) ที่เก็บได้จากอุปกรณ์ Laser Profilometer และ Accelerometer โดยข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์เลเซอร์มีลักษณะข้อมูลเป็นค่าต่อเนื่องตลอดระยะทางการสำรวจเมื่อรถสำรวจวิ่งสำรวจข้อมูลด้วยความเร็วประมาณ 30 ถึง 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีตัวอย่างเกณฑ์ดัชนีความขรุขระสากลของต่างประเทศแสดงดังตารางที่ 4-3 และเกณฑ์ระดับความขรุขระของผิวถนนเทียบกับค่า IRI ของกรมทางหลวงแสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-3 เกณฑ์ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index: IRI)

เกณฑ์ / ประเทศ	ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index: IRI) (เมตรต่อกิโลเมตร)					
	สหรัฐอเมริกา	บราซิล	สเปน	ชิลี	อุรุกวัย	ฮอนดูรัส
ดีมาก (Excellent)	< 0.9	< 1.9	< 1.5	-	< 3.2	-
ดี (Good)	0.9 - 1.5	1.9 - 2.7	1.5 - 2.5	< 3.0	3.2 - 3.9	< 3.5
พอใช้ (Fair)	1.5 - 2.7	2.7 - 3.5	2.5 - 4.0	3.0 - 4.0	3.9 - 4.6	3.5 - 6.0
แย่ (Poor)	> 2.7	> 3.5	> 4.0	> 4.0	> 4.6	>6.0

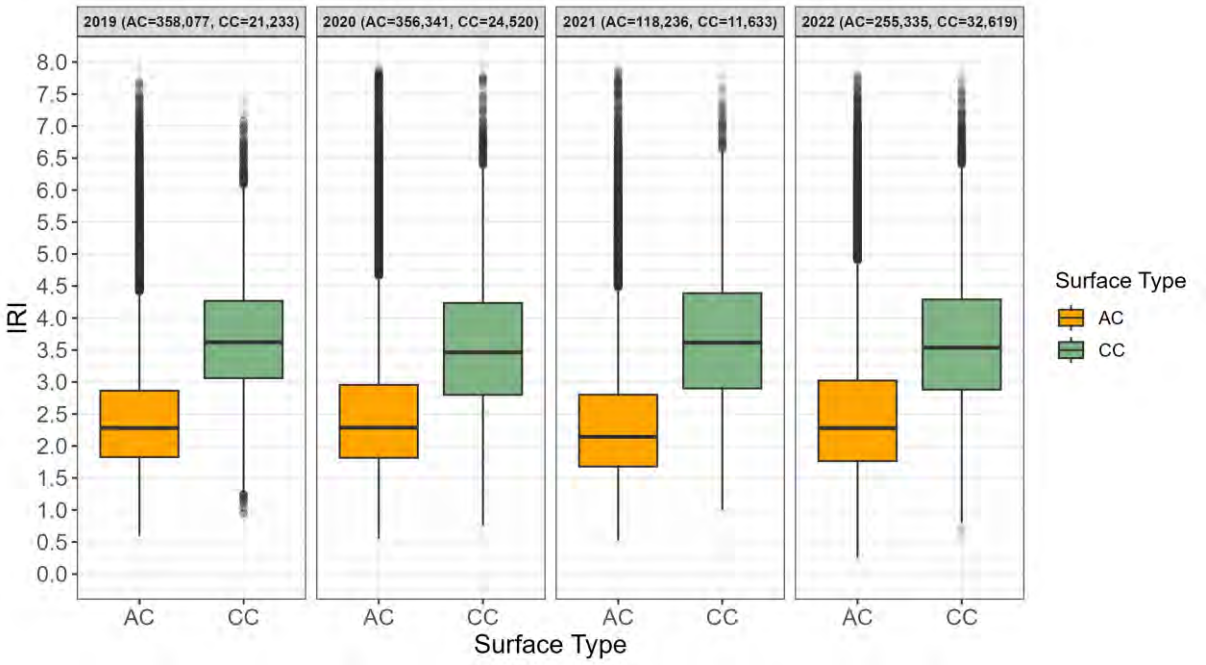
ที่มา : Improving Pavements With Long-Term Pavement Performance: Products for Today and Tomorrow (Federal Highway Administration Research and Technology, 2006)

ตารางที่ 4-4 ตารางแสดงระดับความขรุขระของผิวถนนเทียบกับค่า IRI

ค่าดัชนีความขรุขระสากล IRI (m/km)	เกณฑ์	
	เรียบมาก	น้อยกว่า 2.5
	เรียบ	มากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 - น้อยกว่า 3.5
	ขรุขระ	มากกว่าหรือเท่ากับ 3.5 - น้อยกว่า 4.5
	ขรุขระมาก	มากว่า 4.5

ที่มา : กรมทางหลวง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล IRI ได้ผลลัพธ์ในผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 ข้อมูล IRI แต่ละปีของผิวทางแต่ละประเภท

จากรูปที่ 4-2 จะเห็นได้ว่าค่า IRI ของผิวทางลาดยางจะมีค่าน้อยกว่าผิวทางคอนกรีต ซึ่งมีค่ามัธยฐานของผิวทางลาดยางอยู่ที่ 2.268 และผิวทางคอนกรีตค่ามัธยฐานอยู่ที่ 3.552

- **ความเสียหายของผิวทาง (Pavement Condition Index, PCI)**

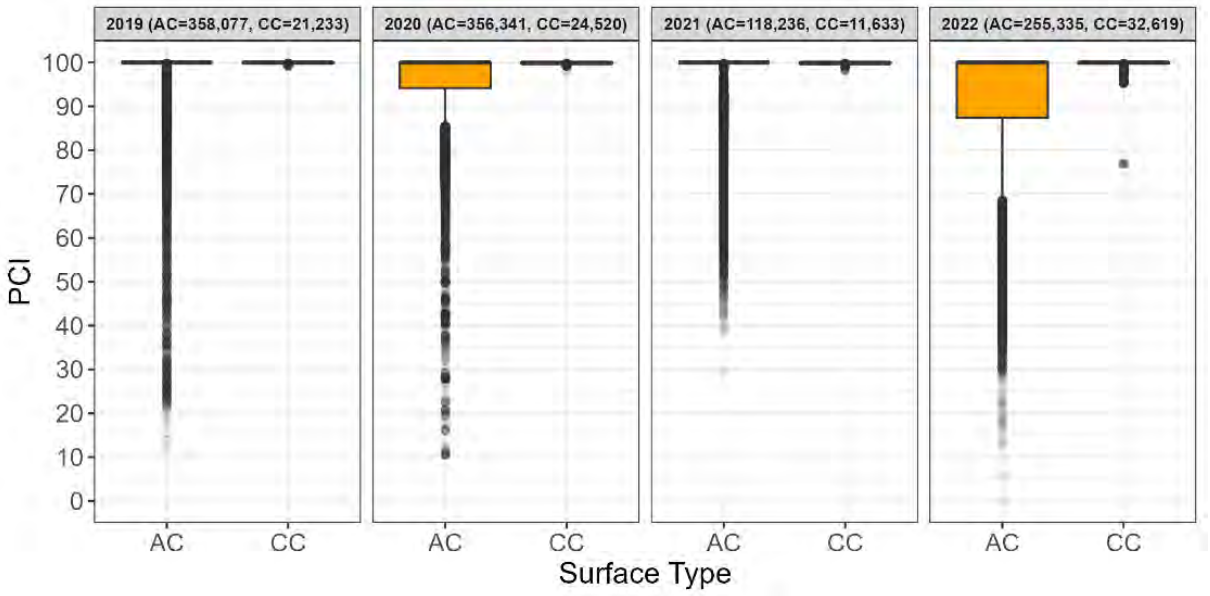
ความเสียหายของผิวทางพิจารณาจากค่าดัชนีสภาพถนน (Pavement Condition Index; PCI) เป็นการให้คะแนนเพื่อประเมินสภาพถนนที่เป็นค่าตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยทำการตรวจสอบภาพตัวอย่างของถนนและประเมินลักษณะโครงสร้างของผิวหน้าถนน เช่น รอยแตกร้าว ร่องล้อความขรุขระ และความเสียดทาน โดยเกณฑ์ค่าดัชนีสภาพถนนแสดงดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ตารางแสดงค่าดัชนีสภาพถนน Pavement Condition Index (PCI)

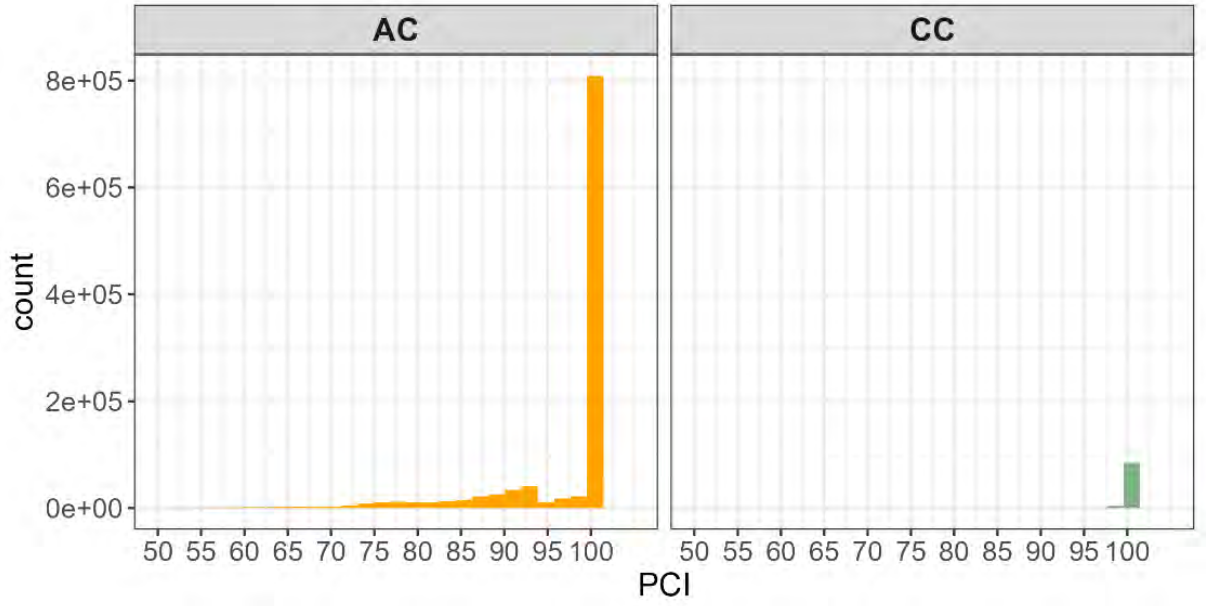
คะแนน PCI	เกณฑ์
100	Excellent
90-99	Very Good
80-89	Good
70-79	Fair
60-69	Poor
50-59	Very Poor
0-49	Failed

ที่มา : U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล IRI ได้ผลลัพธ์ในผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 4-3 และรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-3 ข้อมูล PCI แต่ละปีของผิวทางแต่ละประเภท



รูปที่ 4-4 ข้อมูล PCI แต่ของผิวทางแต่ละประเภท

ตารางที่ 4-6 ข้อมูล PCI ในแต่ละประเภทผิวทาง

คะแนน PCI	เกณฑ์	ผิวทางลาดยาง	ผิวทางคอนกรีต
100	Excellent	74.11%	10.16%
90-99	Very Good	11.92%	89.83%
80-89	Good	8.31%	0.00%
70-79	Fair	3.89%	0.01%
60-69	Poor	10.99%	0.00%
50-59	Very Poor	0.43%	0.00%
0-49	Failed	0.22%	0.00%

จากตารางที่ 4-6 จะเห็นได้ว่าผิวทางลาดยางข้อมูลส่วนใหญ่จะมีค่าเท่ากับ 100 ซึ่งหมายถึง ไม่มีความเสียหาย ส่วนในผิวทางคอนกรีตจะมีค่าเท่ากับ 90-99 เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งหมายถึงมีความเสียหายของผิวทางเล็กน้อย

- **ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง (International Friction Index, IFI)**

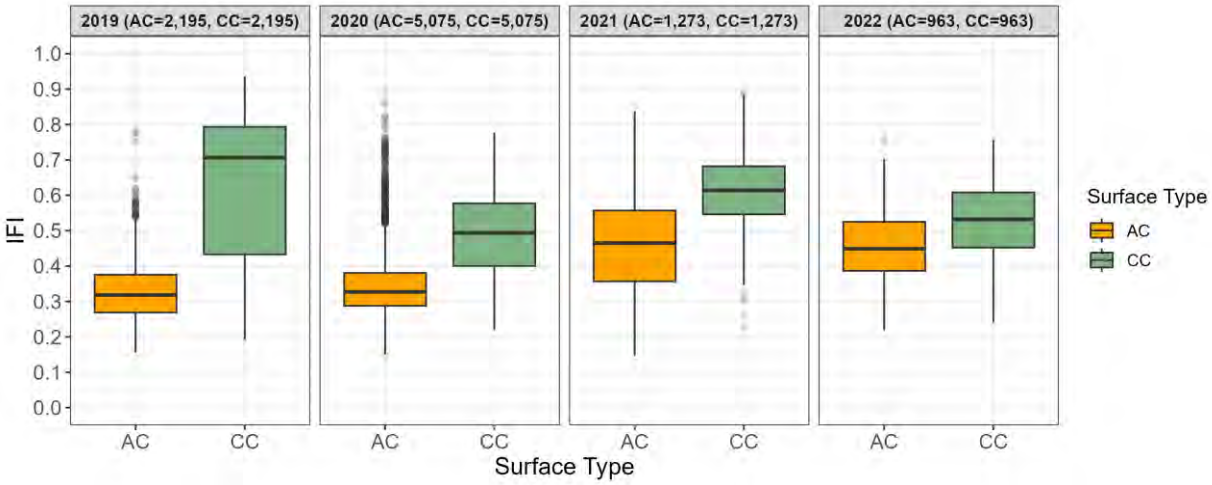
ความต้านทานการลื่นไถลพิจารณาจากค่าดัชนีความเสียดทานสากล (International Friction Index; IFI) ซึ่งเกิดจากการผนวกค่าแรงยึดติด (Adhesion) และค่าแรงต้านทาน (Hysteresis) เข้าด้วยกัน โดยค่าแรงยึดติดเป็นแรงฝืดที่เกิดจากการเชื่อม หรือการหน่วง ซึ่งมาจากวัสดุขนาดเล็กของผิวถนนกับยางล้อ ในขณะที่ค่าแรงต้านทานเป็นค่าที่เกิดจากการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากการเปลี่ยนรูปร่างของล้อยาง เมื่อล้อยางถูกบีบอัดเข้ากับพื้นผิวทาง โดยเกณฑ์การซ่อมบำรุงของกรมทางหลวงแสดงดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 เกณฑ์การซ่อมบำรุงของกรมทางหลวง

ดัชนีความเสียดทานสากล IFI	เกณฑ์	
	ค่าระดับพึงระวัง	0.32
	ค่าระดับปรับปรุงแก้ไข	0.25

ที่มา : กรมทางหลวง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล IFI ได้ผลลัพธ์ในผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 ข้อมูล IFI แต่ละปีของผิวทางแต่ละประเภท

จากรูปที่ 4-5 จะเห็นได้ว่าค่า IFI ของผิวทางลาดยางจะมีค่าน้อยกว่าผิวทางคอนกรีต ซึ่งมีค่ามัธยฐานของผิวทางลาดยางอยู่ที่ 0.342 และผิวทางคอนกรีตค่ามัธยฐานอยู่ที่ 0.538

2) วิเคราะห์ลำดับความสำคัญของแต่ละด้านโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติขั้นสูงที่มีความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานอย่างสมเหตุสมผล

ในการวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละด้านโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบหลายปัจจัย (Multicriteria Analysis) โดยการตัดสินใจเป็นลำดับขั้น (Hierarchy) ที่พัฒนาโดย Thomas L. Saaty ตั้งแต่ทศวรรษ 1970 เป็นกระบวนการตัดสินใจที่ใช้การวินิจฉัยเพื่อหาเหตุผล และเป็นกระบวนการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพด้วยกระบวนการคิดวิเคราะห์ตามลำดับชั้น มีโครงสร้างกระบวนการเลียนแบบมนุษย์ (Saaty, Thomas L. & Vargas Luis G, 2001) โดยแบ่งองค์ประกอบที่เป็นนามธรรมและรูปธรรมของปัญหาออกเป็นส่วน ๆ ในรูปแบบของแผนภูมิลำดับชั้น แล้วกำหนดค่าการเปรียบเทียบปัจจัยหรือเกณฑ์ต่าง ๆ โดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ เป็นการวิเคราะห์หาทางเลือกที่ได้ผลดีที่สุด

โดยนำมาเปรียบเทียบเกณฑ์ในการคัดเลือกของทางเลือกแต่ละคู่ (Pairwise Comparison) ที่ทำให้ง่ายต่อการตัดสินใจว่าเกณฑ์ไหนมีความสำคัญมากกว่ากัน และใช้เหตุผลที่ถูกต้องอันเกิดจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญและความสำคัญในปัญหานั้นเป็นพื้นฐาน ทำการวิเคราะห์ความสอดคล้อง (Consistency) ของผู้ตัดสินใจในแต่ละบุคคล เพื่อให้มั่นใจได้ว่าค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยและแนวทางเลือกที่ได้มีความน่าเชื่อถือ

โดยมีวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาค่าน้ำหนักปัจจัย ซึ่งการให้คะแนนมาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ แสดงดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 มาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ

ระดับความเข้มข้นของความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน	ปัจจัยทั้งสองที่กำลังพิจารณาเปรียบเทียบมีความสำคัญเท่าเทียมกัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง	ปัจจัยทั้งสองที่กำลังพัฒนาเปรียบเทียบ ปัจจัยตัวที่หนึ่งมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยอีกตัวหนึ่งปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก	ปัจจัยทั้งสองที่กำลังพัฒนาเปรียบเทียบ ปัจจัยตัวที่หนึ่งมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยอีกตัวหนึ่งมาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด	ปัจจัยทั้งสองที่กำลังพัฒนาเปรียบเทียบ ปัจจัยตัวที่หนึ่งมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยอีกตัวหนึ่งมากที่สุด
9	สำคัญกว่าสูงสุด	ปัจจัยทั้งสองที่กำลังพัฒนาเปรียบเทียบ ปัจจัยตัวที่หนึ่งมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยอีกตัวหนึ่งในระดับสูงสุด
2, 4, 6, 8	ค่าความสำคัญระหว่างกลางของค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น	ค่าความสำคัญของการเปรียบเทียบปัจจัยถูกพิจารณาว่าควรเป็นค่าระหว่างกลางของค่าที่กล่าวข้างต้น

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (2542)

สำหรับการคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ทางเลือก เมื่อได้ค่าน้ำหนักที่ผู้เชี่ยวชาญได้วินิจฉัยแล้ว โดยออกมาในรูปแบบของตัวเลข จะนำตัวเลขที่ได้มาคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญ ในแต่ละชั้น แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับชั้นแต่ละระดับชั้นจากชั้นบนลงสู่ชั้นล่างจนครบทุกขั้นตอน และจากโครงสร้างแผนภูมิลำดับขั้น สามารถเขียนสมการเมตริกซ์แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ (Pairwise Comparison) โดยใช้ตารางเมตริกซ์ในการอธิบายเปรียบเทียบ เพื่อทดสอบความสอดคล้องของการใช้เหตุผล และความอ่อนไหวของลำดับความสำคัญของทางเลือก ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบคณิตศาสตร์ แสดงดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 ตารางเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบรายคู่

เกณฑ์ (C) C1, C2, ...C_n		**เกณฑ์**				
		A_1	**A_2**	**...**	**A_{3n}**	**W**
เกณฑ์	**A_1**	1	A_{12}	...		W_1
	A_2	$1/A_{12}$	1	...		W_2
	...	...	...	...		...
	A_3	$1/A_{1n}$	$1/A_{2n}$		1	W_4

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (2542)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนครั้งในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ มีดังนี้

$$N = (n^2 - n)/2$$

เมื่อ N = จำนวนครั้งในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ

n = จำนวนปัจจัยที่ถูกนำมาเปรียบเทียบเป็นคู่ ๆ

การหาค่าน้ำหนักเกณฑ์ เมื่อได้นำค่าน้ำหนักที่ผู้เชี่ยวชาญได้วินิจฉัยแล้ว โดยออกมาในรูปแบบตัวเลข โดยจะนำตัวเลขที่ได้มาคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญในแต่ละชั้น ระดับชั้นจากชั้นบนลงสู่ชั้นล่างจนครบทุกชั้น *(มาโนช ชาวสวน, 2545)*

วิธีการคำนวณมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ทำการเปรียบเทียบเกณฑ์แต่ละคู่ในรูปของตารางเมทริกซ์ ทำได้โดยทำการเปรียบเทียบทุก ๆ เกณฑ์ทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง
- คำนวณค่า Eigenvector Normalized โดยทำได้จากการหาค่าเฉลี่ยความสำคัญในแต่ละแถว
- การคำนวณหาลำดับความสำคัญของระดับชั้นถัดมา ทำโดยการทำการคำนวณตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 จนถึงขั้นตอนที่ 2 แล้วนำค่าที่คำนวณได้จากลำดับชั้นที่อยู่สูงกว่าของลำดับชั้นที่ 2 ที่ได้จากการคำนวณ จะได้ค่าลำดับความสำคัญในลำดับชั้นรองลงมาตามเกณฑ์ ในระดับชั้นนั้น ๆ ทำเช่นนี้จนครบทุกเกณฑ์

สมการที่ใช้คำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์แต่ละชั้น ดังนี้

$$Aw = \lambda_{max} w$$

เมื่อ A = สแควร์เมทริกซ์ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ แสดงด้วยค่าตัวเลข ซึ่งปรับค่าให้เป็น 1 แล้ว (Normalized)

W = Eigenvector แสดงน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์กับของซึ่งอยู่ในลำดับชั้นเดียวกัน

λ_{max} = Maximum Eigenvalue

การตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: C.R.) เป็นการตรวจสอบผลการเปรียบเทียบที่ได้การทำมาในหัวข้อที่ 2 นั้น มีความสอดคล้องกับเหตุผลหรือไม่ ตรวจสอบโดยใช่การหาค่า ดัชนีความสอดคล้องกันของเหตุผล ดังนี้

- คำนวณหาค่า λ_{max} เป็นค่าที่คำนวณได้จากการนำเอาผลรวมของค่าวินิจฉัยของแต่ละเกณฑ์ ในแต่ละแถว มาคูณด้วยผลรวมค่าเฉลี่ยในแนวนอนแต่ละแถว แล้วนำเอาผลคูณที่ได้มารวมกัน ผลลัพธ์ที่จะได้เท่ากับจำนวนเกณฑ์ทั้งหมดที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ โดยถ้าการวินิจฉัยในเกณฑ์นั้นมีความสอดคล้องกันอย่างสมบูรณ์ จะทำให้ค่า $\lambda_{max} = n$
- คำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I.) หาได้จากสมการ ดังนี้

$$C.I = (\lambda_{max} - n) / n - 1$$

- เปิดตารางค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) โดยที่ค่า R.I.เป็นค่าที่ขึ้นกับขนาดของเมทตริกซ์ตั้งแต่ 1 x 1 จนถึง 15 x 15 ผลของ R.I. แสดงดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ค่าของดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมทริกซ์ (Random Consistency Index: R.I.)

N	R.I.
1	0.00
2	0.00
3	0.28
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49
11	1.51
12	1.48
13	1.56
14	1.57
15	1.59

- คำนวณค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: C.R.) คำนวณได้จากอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I.) ที่คำนวณได้จากตารางเมทริกซ์กับค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$C.R. = C.I. / R.I.$$

โดยที่ค่า C.R. ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.10 ถือว่ายอมรับได้ ถ้ามากกว่า 0.10 ถือว่ายอมรับไม่ได้ จะต้องทำการทบทวนการให้ค่าน้ำหนักคะแนนเปรียบเทียบในเกณฑ์นั้นใหม่จนกว่าจะได้ค่าที่ยอมรับได้

โดยที่ปรึกษาได้ดำเนินการออกแบบสอบถามแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 โครงสร้างเกณฑ์และคำอธิบายในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนน ส่วนที่ 2 ข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถาม และส่วนที่ 3 แบบสอบถาม แสดงดังภาคผนวก ก และได้วางแผนดำเนินการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 11 ท่าน เพื่อวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของดัชนีชี้วัดทั้ง 4 ด้าน โดยมีรายชื่อแสดงดังตารางที่ 4-11

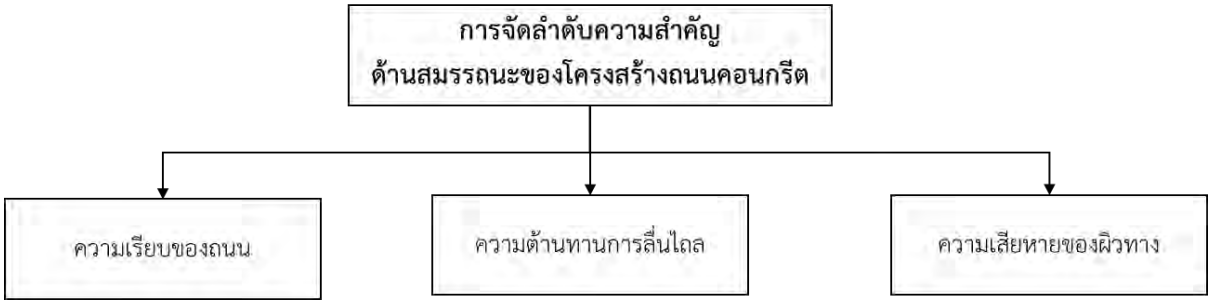
ตารางที่ 4-11 รายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่ขอความอนุเคราะห์ในการตอบแบบสอบถาม

ลำดับ	หน่วยงาน	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่ง
1.	สำนักงานทางหลวงที่ 12	นายจตุพล เทพมังกร	รองผู้อำนวยการ สำนักงานทางหลวงที่ 12
2.	สำนักงานบำรุงทาง	นายพิชฐ รุ่งเรืองวิโรจน์	ผู้อำนวยการ กลุ่มพัฒนาระบบบริหารบำรุง
3.	สำนักงานวิเคราะห์และตรวจสอบ	นายปรนิก จิตต์อารีกุล	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
4.	สำนักงานบริหารบำรุงทาง	นายธันวิน สวัสดิศานต์	ผู้อำนวยการ แขวงทางหลวงอยุธยา
5.	สำนักแผนงาน	นายปิยะ ชูตินันท์	ผู้อำนวยการ กลุ่มงานวางแผน
6.	สำนักแผนงาน	นางสาวภัทริน ศรุติพันธ์	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
7.	สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง	นายพลเทพ เลิศวรนิช	ผู้อำนวยการ สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง
8.	สำนักอำนวยความปลอดภัย	นายจักรภพ วัชรมณเทียร	รองผู้อำนวยการ สำนักอำนวยความปลอดภัย
9.	กองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง	นายธนศักดิ์ วงษ์ธนากิจเจริญ	ผู้อำนวยการ กองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง
10.	แขวงทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง	นายอภิชัย อิสริยานุกูล	ผู้อำนวยการ แขวงทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง
11.	สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ	นายวสันต์ พฤกษางามชล	วิศวกรโยธาชำนาญการ

ที่ปรึกษาได้ออกแบบโครงสร้างเกณฑ์ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยางและถนนคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 4-6 และรูปที่ 4-7



รูปที่ 4-6 โครงสร้างเกณฑ์ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยาง



รูปที่ 4-7 โครงสร้างเกณฑ์ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนนคอนกรีต

โดยมีคำอธิบาย/นิยามของเกณฑ์ในการประเมินแสดงตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 คำอธิบาย/นิยามของเกณฑ์ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนน

ลำดับ	เกณฑ์	คำอธิบาย/นิยาม
1	ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน	พิจารณาความแข็งแรงของโครงสร้างถนนจากค่าดัชนี Structural Coefficient Index (SCI) ซึ่งใช้ในการประเมินโครงสร้างถนน โดยจะเป็นค่าตัวเลขที่แสดงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของถนน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับข้อกำหนดการออกแบบ โดยในการคำนวณจะคำนวณจากวัสดุชั้นทางและความหนาของชั้นต่าง ๆ ภายในโครงสร้างถนน SCI คำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความแข็งแรง ความหนาของชั้นผิวทางต่าง ๆ และน้ำหนักบรรทุกที่ใช้
2	ความเรียบของถนน	พิจารณาความเรียบของถนนจากค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) ซึ่งคำนวณจากค่าระดับสะสมตามยาวของถนน (Longitudinal Road Profile) ที่เก็บได้จากอุปกรณ์ Laser Profilometer และ Accelerometer โดยข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์เลเซอร์มีลักษณะข้อมูลเป็นค่าต่อเนื่องตลอดระยะทางการสำรวจเมื่อรถสำรวจวิ่งสำรวจข้อมูลด้วยความเร็วประมาณ 30 ถึง 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 4-12 คำอธิบาย/นิยามของเกณฑ์ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนน

ลำดับ	เกณฑ์	คำอธิบาย/นิยาม
3	ความเสียหายของผิวทาง	พิจารณาความเสียหายของผิวทางจากค่าดัชนีสภาพถนน (Pavement Condition Index; PCI) เป็นการให้คะแนนเพื่อประเมินสภาพถนนที่เป็นค่าตัวเลขตั้งแต่: 0 ถึง 100 โดยทำการตรวจสอบภาพตัวอย่างของถนนและประเมินลักษณะโครงสร้างของผิวหน้าถนน เช่น รอยแตกร้าว ร่องล้อความขรุขระ และความเสียดทาน
4	ความต้านทานการลื่นไถล	พิจารณาความต้านทานการลื่นไถลจากค่าดัชนีความเสียดทานสากล (International Friction Index; IFI) ซึ่งเกิดจากการผนวกค่าแรงยึดติด (Adhesion) และค่าแรงต้านทาน (Hysteresis) เข้าด้วยกัน โดยค่าแรงยึดติดเป็นแรงฝืดที่เกิดจากการเชื่อม หรือการหน่วง ซึ่งมาจากวัสดุขนาดเล็กของผิวถนนกับยางล้อ ในขณะที่ค่าแรงต้านทานเป็นค่าที่เกิดจากการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากการเปลี่ยนรูปร่างของล้อยางเมื่อล้อยางถูกบีบอัดเข้ากับพื้นผิวทาง

จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 11 ท่าน สามารถแสดงผลค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนทั้ง 4 ด้านของถนนลาดยางและถนนคอนกรีต แสดงดังตารางที่ 4-13 และตารางที่ 4-14 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-13 ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยาง

ความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยาง			
ลำดับ	**ดัชนีชี้วัด**	**ค่าน้ำหนักความสำคัญ**	**ค่าความสอดคล้อง**
1	ความเสียหายของผิวทาง	0.380	0.0080
2	ความต้านทานการลื่นไถล	0.217	
3	ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน	0.187	
4	ความเรียบของถนน	0.162	

จากตารางข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าผู้เชี่ยวชาญให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยางด้านความเสียหายของผิวทางมากที่สุด โดยมีค่าน้ำหนักอยู่ที่ร้อยละ 0.380 และให้ค่าน้ำหนักของดัชนีชี้วัดด้านความต้านทานการลื่นไถล ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน และความเรียบของถนน อยู่ที่ร้อยละ 0.271, 0.162 และ 0.187 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-14 ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนคอนกรีต

ความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนคอนกรีต			
ลำดับ	**ดัชนีชี้วัด**	**ค่าน้ำหนักความสำคัญ**	**ค่าความสอดคล้อง**
1	ความเสียหายของผิวทาง	0.598	0.0000
2	ความเรียบของถนน	0.208	
3	ความต้านทานการลื่นไถล	0.194	

จากตารางข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าผู้เชี่ยวชาญให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนคอนกรีตด้านความเสียหายของผิวทางมากที่สุด โดยมีค่าน้ำหนักอยู่ที่ร้อยละ 0.598 และให้ค่าน้ำหนักของดัชนีชี้วัดด้านความเรียบของถนน และความต้านทานการลื่นไถล อยู่ที่ร้อยละ 0.208 และ 0.194 ตามลำดับ

นอกจากนี้ ที่ปรึกษาได้จัดทำแบบสอบถามเพื่อวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนทั้ง 4 ด้าน ซึ่งประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการบริหารจัดการงานทางของกรมทางหลวง ได้แก่

1) สำนักบริหารบำรุงทาง จำนวน 14 คน
2) สำนักแผนงาน จำนวน 7 คน
3) สำนักอำนวยความปลอดภัย จำนวน 10 คน
4) สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ จำนวน 11 คน
5) สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง จำนวน 11 คน

รวมจำนวนทั้งหมด 53 คน สามารถสรุปผลลำดับความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยางและถนนคอนกรีตแสดงดังตารางที่ 4-15 และตารางที่ 4-16 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-15 ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยางของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

หน่วยงาน	**ค่าน้ำหนักความสำคัญ**				**ค่าความสอดคล้อง**
	ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน	**ความเรียบของถนน**	**ความเสียหายของผิวทาง**	**ความต้านทานการลื่นไถล**	
สำนักบริหารบำรุงทาง	0.268	0.140	0.375	0.218	0.0004
สำนักแผนงาน	0.231	0.272	0.243	0.254	0.0195
สำนักอำนวยความปลอดภัย	0.330	0.208	0.233	0.228	0.0014
สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ	0.257	0.190	0.318	0.235	0.0047
สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง	0.102	0.171	0.216	0.512	0.0107

หมายเหตุ : ช่องที่ระบายสีเขียว หมายถึง หน่วยงานให้ความสำคัญมากที่สุด

ตารางที่ 4-16 ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนคอนกรีตของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

หน่วยงาน	ค่าน้ำหนักความสำคัญ			ค่าความสอดคล้อง
	ความเรียบของถนน	ความเสียหายของผิวทาง	ความต้านทานการลื่นไถล	
สำนักบริหารบำรุงทาง	0.193	0.491	0.317	0.0004
สำนักแผนงาน	0.272	0.344	0.385	0.0123
สำนักอำนวยความปลอดภัย	0.284	0.388	0.327	0.0004
สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ	0.22	0.488	0.290	0.0021
สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง	0.136	0.516	0.348	0.0000

หมายเหตุ : ช่องที่ระบายสีเขียว หมายถึง หน่วยงานให้ความสำคัญมากที่สุด

จากตารางที่ 4-15 และตารางที่ 4-16 จะเห็นได้ว่าการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนจากผู้เชี่ยวชาญแต่ละสำนักมีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจเกิดจากหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายแตกต่างกัน จึงส่งผลให้มุมมองในการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดของโครงสร้างถนนลาดยาง ในขณะที่การการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดของโครงสร้างถนนคอนกรีตมีความคล้ายคลึงกัน โดยผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่มองว่าความเสียหายของผิวทางมีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด

นอกจากการทำแบบสอบถามเพื่อประเมินค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนน ที่ปรึกษาได้จัดทำแบบสอบถามเพื่อประเมินระดับคุณภาพของดัชนีชี้วัดทั้ง 4 ด้าน โดยใช้ความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในการแบ่งระดับคุณภาพของดัชนีชี้วัด เพื่อให้สามารถประเมินภาพรวมสมรรถนะของถนนได้ เนื่องจากดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงสร้างถนนทั้ง 4 ด้าน มีเกณฑ์การให้คะแนนที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องจัดทำเกณฑ์ระดับคุณภาพของดัชนีชี้วัดในแต่ละด้านให้อยู่ในเกณฑ์เดียวกัน โดยแบ่งระดับคุณภาพออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ดีมาก ดี ปานกลาง แย่ และแย่มาก

ในการแบ่งระดับคุณภาพของดัชนีชี้วัดสมรรถนะของถนน ที่ปรึกษาประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) หรือตรรกศาสตร์คลุมเครือ พัฒนามาจากฟัซซีเซต (Fuzzy set) ซึ่งถูกคิดค้นโดยศาสตราจารย์ L.A.Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 โดยฟัซซีเซตเป็นเซตที่มีขอบเขตไม่เด่นชัดหรือคลุมเคลือ เป็นการใช้เหตุผลแบบประมาณการคล้ายการเลียนแบบวิธีคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ที่ปรึกษาเลือกใช้การอนุมานแบบความสัมพันธ์เชิงฟัซซี่ (Fuzzy relation Inference) ในการแบ่งระดับคุณภาพของดัชนีชี้วัดนี้

โดยเริ่มจากการให้ผู้เชี่ยวชาญกำหนดค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับคุณภาพของดัชนีชี้วัด 5 ระดับและคะแนนดัชนีชี้วัดจากการสำรวจในแต่ละด้าน เพื่อใช้ในการสร้างเกณฑ์ระดับคุณภาพของดัชนีชี้วัด โดยเกณฑ์ระดับคุณภาพที่ประเมินจากผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านจะออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เกณฑ์ระดับคุณภาพของผิวทางลาดยาง แสดงดังตารางที่ 4-17 ถึงตารางที่ 4-20 และเกณฑ์ระดับคุณภาพของผิวทางคอนกรีต แสดงดังตารางที่ 4-21 ถึงตารางที่ 4-23

ตารางที่ 4-17 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความแข็งแรงของโครงสร้างถนนลาดยาง

ชื่อ - สกุล		ดีมาก			ดี			ปานกลาง			แย่			แย่มาก		
นายจตุพล	เทพมังกร	SCI	>=	0.85	0.85	> SCI >=	0.70	0.70	> SCI >=	0.60	0.60	> SCI >=	0.50	0.50	>	SCI
นายพิชญ	รุ่งเรืองวิโรจน์	SCI	>=			> SCI >=			> SCI >=			> SCI >=			>	SCI
นายปรนิก	จิตต์อารีกุล	SCI	>=	0.90	0.90	> SCI >=	0.80	0.80	> SCI >=	0.60	0.60	> SCI >=	0.50	0.50	>	SCI
นายธันวิน	สวัสดิศานต์	SCI	>=	1.00	1.00	> SCI >=	0.90	0.90	> SCI >=	0.80	0.80	> SCI >=	0.70	0.70	>	SCI
นายปิยะ	ชูตินันท์	SCI	>=	0.95	0.95	> SCI >=	0.90	0.90	> SCI >=	0.80	0.80	> SCI >=	0.70	0.70	>	SCI
นางสาวภัทริน	ศรุติพันธ์	SCI	>=	0.95	0.95	> SCI >=	0.90	0.90	> SCI >=	0.80	0.80	> SCI >=	0.75	0.75	>	SCI
นายพลเทพ	เลิศวรานิช	SCI	>=	1.00	1.00	> SCI >=	0.95	0.95	> SCI >=	0.85	0.85	> SCI >=	0.75	0.75	>	SCI
นายจักรภพ	วัชรมณเฑียร	SCI	>=	0.90	0.90	> SCI >=	0.80	0.80	> SCI >=	0.60	0.60	> SCI >=	0.50	0.50	>	SCI
นายธนศักดิ์	วงศ์ธนากิจเจริญ	SCI	>=			> SCI >=			> SCI >=			> SCI >=			>	SCI
นายอภิชัย	อิสริยานุกูล	SCI	>=			> SCI >=			> SCI >=			> SCI >=			>	SCI

ตารางที่ 4-18 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความเรียบของถนนของผิวทางลาดยาง *หน่วย: เมตร/กิโลเมตร*

ชื่อ - สกุล		ดีมาก			ดี			ปานกลาง			แย่			แย่มาก		
นายจตุพล	เทพมังกร	IRI	<	1.75	1.75	<= IRI <	2.50	2.50	<= IRI <	3.50	3.50	<= IRI <	4.50	4.50	<=	IRI
นายพิชญ	รุ่งเรืองวิโรจน์	IRI	<	2.00	2.00	<= IRI <	3.00	3.00	<= IRI <	3.50	3.50	<= IRI <	4.00	4.00	<=	IRI
นายปรนิก	จิตต์อารีกุล	IRI	<	1.00	1.00	<= IRI <	2.00	2.00	<= IRI <	3.00	3.00	<= IRI <	4.00	4.00	<=	IRI
นายธันวิน	สวัสดิศานต์	IRI	<	2.00	2.00	<= IRI <	3.00	3.00	<= IRI <	3.50	3.50	<= IRI <	5.00	5.00	<=	IRI
นายปิยะ	ชูตินันท์	IRI	<	1.50	1.50	<= IRI <	2.00	2.00	<= IRI <	3.50	3.50	<= IRI <	5.00	5.00	<=	IRI
นางสาวภัทริน	ศรุติพันธ์	IRI	<	1.50	1.50	<= IRI <	2.00	2.00	<= IRI <	3.50	3.50	<= IRI <	4.50	4.50	<=	IRI
นายพลเทพ	เลิศวรานิช	IRI	<	1.00	1.00	<= IRI <	2.00	2.00	<= IRI <	3.00	3.00	<= IRI <	4.00	4.00	<=	IRI
นายจักรภพ	วัชรมณเฑียร	IRI	<	2.00	2.00	<= IRI <	2.50	2.50	<= IRI <	3.50	3.50	<= IRI <	4.00	4.00	<=	IRI
นายธนศักดิ์	วงศ์ธนากิจเจริญ	IRI	<			<= IRI <			<= IRI <			<= IRI <			<=	IRI
นายอภิชัย	อิสริยานุกูล	IRI	<	2.00	2.00	<= IRI <	2.50	2.50	<= IRI <	3.00	3.00	<= IRI <	3.50	3.50	<=	IRI

ตารางที่ 4-19 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความเสียหายของผิวทางลาดยาง

ชื่อ - สกุล		ดีมาก			ดี			ปานกลาง			แย่			แย่มาก		
นายจตุพล	เทพมังกร	PCI	>=	80	80	> PCI >=	65	65	> PCI >=	35	35	> PCI >=	25	25	>	PCI
นายพิชญ	รุ่งเรืองวิโรจน์	PCI	>=			> PCI >=			> PCI >=			> PCI >=			>	PCI
นายปรนิก	จิตต์อารีกุล	PCI	>=	90	90	> PCI >=	80	80	> PCI >=	60	60	> PCI >=	50	50	>	PCI
นายธันวิน	สวัสดิศานต์	PCI	>=	85	85	> PCI >=	70	70	> PCI >=	55	55	> PCI >=	40	40	>	PCI
นายปิยะ	ชูตินันท์	PCI	>=	90	90	> PCI >=	80	80	> PCI >=	70	70	> PCI >=	50	50	>	PCI
นางสาวภัทริน	ศรุติพันธ์	PCI	>=	90	90	> PCI >=	80	80	> PCI >=	70	70	> PCI >=	60	60	>	PCI
นายพลเทพ	เลิศวรานิช	PCI	>=	95	95	> PCI >=	90	90	> PCI >=	85	85	> PCI >=	80	80	>	PCI
นายจักรภพ	วัชรมณเฑียร	PCI	>=	80	80	> PCI >=	70	70	> PCI >=	60	60	> PCI >=	40	40	>	PCI
นายธนศักดิ์	วงศ์ธนากิจเจริญ	PCI	>=			> PCI >=			> PCI >=			> PCI >=			>	PCI
นายอภิชัย	อิสริยานุกูล	PCI	>=			> PCI >=			> PCI >=			> PCI >=			>	PCI

ตารางที่ 4-20 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางลาดยาง

ชื่อ - สกุล		ดีมาก			ดี			ปานกลาง			แย่			แย่มาก		
นายจตุพล	เทพมังกร	IFI	>=	0.55	0.55	> IFI >=	0.40	0.40	> IFI >=	0.30	0.30	> IFI >=	0.20	0.20	>	IFI
นายพิชญ	รุ่งเรืองวิโรจน์	IFI	>=	0.60	0.60	> IFI >=	0.50	0.50	> IFI >=	0.40	0.40	> IFI >=	0.32	0.32	>	IFI
นายปรนิก	จิตต์อารีกุล	IFI	>=	0.60	0.60	> IFI >=	0.45	0.45	> IFI >=	0.32	0.32	> IFI >=	0.25	0.25	>	IFI
นายธันวิน	สวัสดิศานต์	IFI	>=	0.50	0.50	> IFI >=	0.35	0.35	> IFI >=	0.25	0.25	> IFI >=	0.15	0.15	>	IFI
นายปิยะ	ชูตินันท์	IFI	>=	0.50	0.50	> IFI >=	0.32	0.32	> IFI >=	0.25	0.25	> IFI >=	0.10	0.10	>	IFI
นางสาวภัทริน	ศรุติพันธ์	IFI	>=	0.55	0.55	> IFI >=	0.45	0.45	> IFI >=	0.32	0.32	> IFI >=	0.25	0.25	>	IFI
นายพลเทพ	เลิศวรานิช	IFI	>=	0.70	0.70	> IFI >=	0.60	0.60	> IFI >=	0.40	0.40	> IFI >=	0.25	0.25	>	IFI
นายจักรภพ	วัชรมณเฑียร	IFI	>=	0.60	0.60	> IFI >=	0.50	0.50	> IFI >=	0.30	0.30	> IFI >=	0.25	0.25	>	IFI
นายธนศักดิ์	วงศ์ธนากิจเจริญ	IFI	>=			> IFI >=			> IFI >=			> IFI >=			>	IFI
นายอภิชัย	อิสริยานุกูล	IFI	>=			> IFI >=			> IFI >=			> IFI >=			>	IFI

ตารางที่ 4-21 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความเรียบของถนนของผิวทางคอนกรีต *หน่วย: เมตร/กิโลเมตร*

ชื่อ - สกุล		ดีมาก			ดี			ปานกลาง			แย่			แย่มาก		
นายจตุพล	เทพมังกร	IRI	<	2.20	2.20	<= IRI <	2.75	2.75	<= IRI <	3.25	3.25	<= IRI <	4.50	4.50	<=	IRI
นายพิชญ	รุ่งเรืองวิโรจน์	IRI	<	2.50	2.50	<= IRI <	3.00	3.00	<= IRI <	4.00	4.00	<= IRI <	4.50	4.50	<=	IRI
นายปรนิก	จิตต์อารีกุล	IRI	<	1.00	1.00	<= IRI <	2.50	2.50	<= IRI <	3.50	3.50	<= IRI <	4.50	4.50	<=	IRI
นายธันวิน	สวัสดิศานต์	IRI	<	2.00	2.00	<= IRI <	3.00	3.00	<= IRI <	3.50	3.50	<= IRI <	5.00	5.00	<=	IRI
นายปิยะ	ชูตินันท์	IRI	<	2.00	2.00	<= IRI <	2.50	2.50	<= IRI <	4.00	4.00	<= IRI <	6.00	6.00	<=	IRI
นางสาวภัทริน	ศรุติพันธ์	IRI	<	1.50	1.50	<= IRI <	2.50	2.50	<= IRI <	4.00	4.00	<= IRI <	5.00	5.00	<=	IRI
นายพลเทพ	เลิศวรานิช	IRI	<	1.00	1.00	<= IRI <	2.50	2.50	<= IRI <	3.50	3.50	<= IRI <	5.00	5.00	<=	IRI
นายจักรภพ	วัชรมณเฑียร	IRI	<	2.50	2.50	<= IRI <	3.00	3.00	<= IRI <	3.50	3.50	<= IRI <	4.00	4.00	<=	IRI
นายธนศักดิ์	วงศ์ธนากิจเจริญ	IRI	<			<= IRI <			<= IRI <			<= IRI <			<=	IRI
นายอภิชัย	อิสริยานุกูล	IRI	<	2.50	2.50	<= IRI <	3.00	3.00	<= IRI <	3.50	3.50	<= IRI <	4.00	4.00	<=	IRI

ตารางที่ 4-22 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความเสียหายของผิวทางของผิวทางคอนกรีต

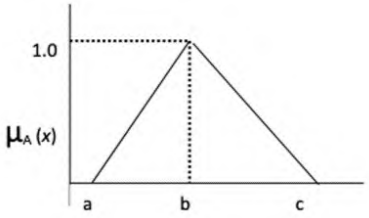
ชื่อ - สกุล		ดีมาก			ดี			ปานกลาง			แย่			แย่มาก		
นายจตุพล	เทพมังกร	PCI	>=	80	80	> PCI >=	65	65	> PCI >=	35	35	> PCI >=	25	25	>	PCI
นายพิชญ	รุ่งเรืองวิโรจน์	PCI	>=			> PCI >=			> PCI >=			> PCI >=			>	PCI
นายปรนิก	จิตต์อารีกุล	PCI	>=	90	90	> PCI >=	80	80	> PCI >=	60	60	> PCI >=	50	50	>	PCI
นายธันวิน	สวัสดิศานต์	PCI	>=	85	85	> PCI >=	70	70	> PCI >=	55	55	> PCI >=	40	40	>	PCI
นายปิยะ	ชูตินันท์	PCI	>=	90	90	> PCI >=	80	80	> PCI >=	70	70	> PCI >=	50	50	>	PCI
นางสาวภัทริน	ศรุติพันธ์	PCI	>=	90	90	> PCI >=	80	80	> PCI >=	70	70	> PCI >=	60	60	>	PCI
นายพลเทพ	เลิศวรานิช	PCI	>=	95	95	> PCI >=	85	85	> PCI >=	80	80	> PCI >=	75	75	>	PCI
นายจักรภพ	วัชรมณเฑียร	PCI	>=	90	90	> PCI >=	75	75	> PCI >=	60	60	> PCI >=	40	40	>	PCI
นายธนศักดิ์	วงศ์ธนากิจเจริญ	PCI	>=			> PCI >=			> PCI >=			> PCI >=			>	PCI
นายอภิชัย	อิสริยานุกูล	PCI	>=			> PCI >=			> PCI >=			> PCI >=			>	PCI

ตารางที่ 4-23 เกณฑ์ระดับคุณภาพด้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางคอนกรีต

ชื่อ - สกุล		ดีมาก			ดี			ปานกลาง			แย่			แย่มาก		
นายจตุพล	เทพมังกร	IFI	>=	0.80	0.80	> IFI >=	0.65	0.65	> IFI >=	0.50	0.50	> IFI >=	0.35	0.35	>	IFI
นายพิชญ	รุ่งเรืองวิโรจน์	IFI	>=	0.60	0.70	> IFI >=	0.60	0.60	> IFI >=	0.50	0.50	> IFI >=	0.32	0.32	>	IFI
นายปรนิก	จิตต์อารีกุล	IFI	>=	0.60	0.60	> IFI >=	0.45	0.45	> IFI >=	0.32	0.32	> IFI >=	0.25	0.25	>	IFI
นายธันวิน	สวัสดิศานต์	IFI	>=	0.50	0.50	> IFI >=	0.35	0.35	> IFI >=	0.25	0.25	> IFI >=	0.15	0.15	>	IFI
นายปิยะ	ชูตินันท์	IFI	>=	0.50	0.50	> IFI >=	0.32	0.32	> IFI >=	0.25	0.25	> IFI >=	0.10	0.10	>	IFI
นางสาวภัทริน	ศรุติพันธ์	IFI	>=	0.55	0.55	> IFI >=	0.45	0.45	> IFI >=	0.32	0.32	> IFI >=	0.25	0.25	>	IFI
นายพลเทพ	เลิศวรานิช	IFI	>=	0.70	0.70	> IFI >=	0.60	0.60	> IFI >=	0.40	0.40	> IFI >=	0.25	0.25	>	IFI
นายจักรภพ	วัชรมณเฑียร	IFI	>=	0.65	0.65	> IFI >=	0.60	0.60	> IFI >=	0.30	0.30	> IFI >=	0.25	0.25	>	IFI
นายธนศักดิ์	วงศ์ธนากิจเจริญ	IFI	>=			> IFI >=			> IFI >=			> IFI >=			>	IFI
นายอภิชัย	อิสริยานุกูล	IFI	>=			> IFI >=			> IFI >=			> IFI >=			>	IFI

ที่ปรึกษาได้จัดทำฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโดยใช้ข้อมูลเกณฑ์ระดับคุณภาพที่ประเมินจากผู้เชี่ยวชาญแต่ท่าน และเลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่า คือ {a,b,c} แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\text{triangular}(x:a,b,c) = \begin{cases} 0 & , x < a \\ (x-a)/(b-a) & , a \le x \le b \\ (c-x)/(c-b) & , b \le x \le c \\ 0, & x > c \end{cases}$$



กำหนดให้ a, b และ c แทนพิกัด x ของจุดทั้ง 3 จุดของ $\mu_A(x)$ ใน Fuzzy set A

โดยที่ a คือ ขอบเขตล่างซึ่งมีระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับศูนย์

C คือ ขอบเขตบนตามลำดับซึ่งมีระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับศูนย์

b คือ จุดศูนย์กลางซึ่งมีความเป็นสมาชิกเท่ากับหนึ่ง

หมายเหตุ : Fuzzy set ยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกซึ่งแสดงด้วยค่าตัวเลขระหว่าง 0 และ 1

โดยที่ 0 หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกในเซต

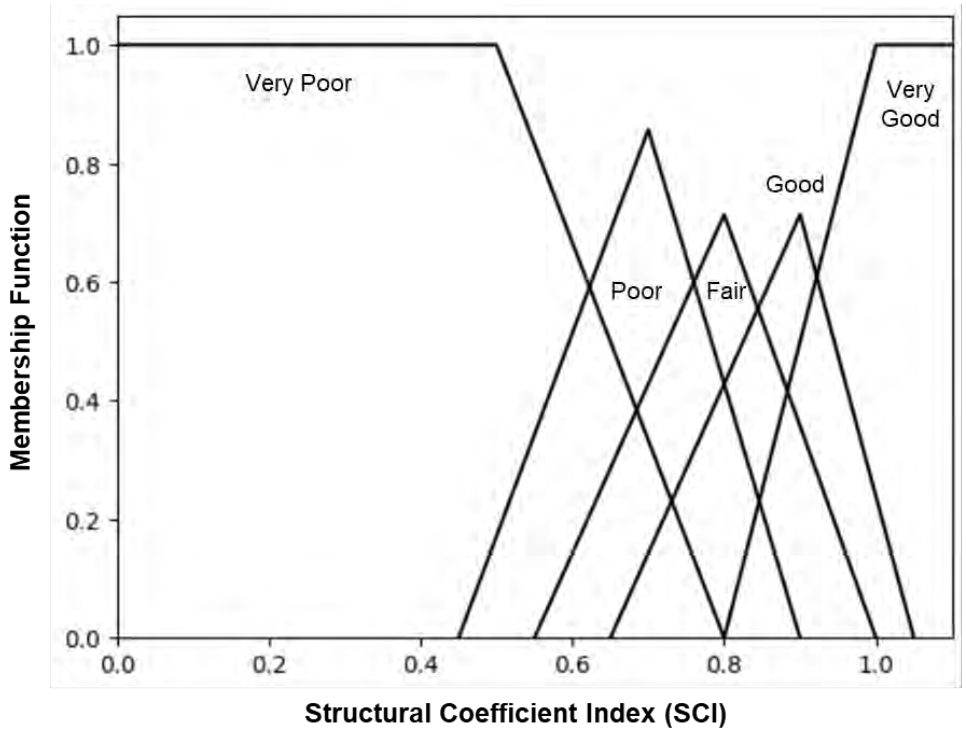
1 หมายถึง เป็นสมาชิกในเซต

ระหว่าง 0 - 1 หมายถึง เป็นสมาชิกบางส่วนในเซต

ที่ปรึกษาจัดทำฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโดยจำแนกตามประเภทของผิวทางและดัชนีชี้วัดสมรรถนะโครงสร้างของถนน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของผิวทางลาดยาง

1. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความแข็งแรงของโครงสร้างถนน



รูปที่ 4-8 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความแข็งแรงของโครงสร้างถนนลาดยาง

รายละเอียดสมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขความเป็นสมาชิกในแต่ละระดับคุณภาพด้านความแข็งแรงของโครงสร้างถนนลาดยาง แสดงดังต่อไปนี้

1. ระดับดีมาก (Very Good)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า SCI ≤ 0.8 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = 0}$

   ถ้า SCI > 0.8 และ SCI < 1 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = \frac{(SCI - 0.8)}{0.2}}$

   ถ้า SCI ≥ 1 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = 1}$

2. ระดับดี (Good)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า SCI ≤ 0.65 หรือ SCI ≥ 1.05 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = 0}$

   ถ้า SCI > 0.65 และ SCI < 0.9 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = \left(\frac{5}{8}\right) \times \frac{(SCI - 0.65)}{0.25}}$

   ถ้า SCI ≥ 0.9 และ SCI < 1.05 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = \left(\frac{5}{8}\right) \times \frac{(1.05 - SCI)}{0.15}}$

3. ระดับปานกลาง (Fair)

<u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

ถ้า SCI ≤ 0.55 หรือ SCI ≥ 1 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = 0}$

ถ้า SCI > 0.55 และ SCI < 0.8 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = \left(\frac{5}{8}\right) \times \frac{(SCI - 0.55)}{0.25}}$

ถ้า SCI ≥ 0.8 และ SCI < 1 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = \left(\frac{5}{8}\right) \times \frac{(1 - SCI)}{0.2}}$

4. ระดับแย่ (Poor)

<u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

ถ้า SCI ≤ 0.45 หรือ SCI x ≥ 0.9 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = 0}$

ถ้า SCI > 0.45 และ SCI < 0.7 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = \left(\frac{6}{8}\right) \times \frac{(SCI - 0.45)}{0.25}}$

ถ้า SCI ≥ 0.7 และ SCI < 0.9 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = \left(\frac{6}{8}\right) \times \frac{(0.9 - SCI)}{0.2}}$

5. ระดับแย่มาก (Very Poor)

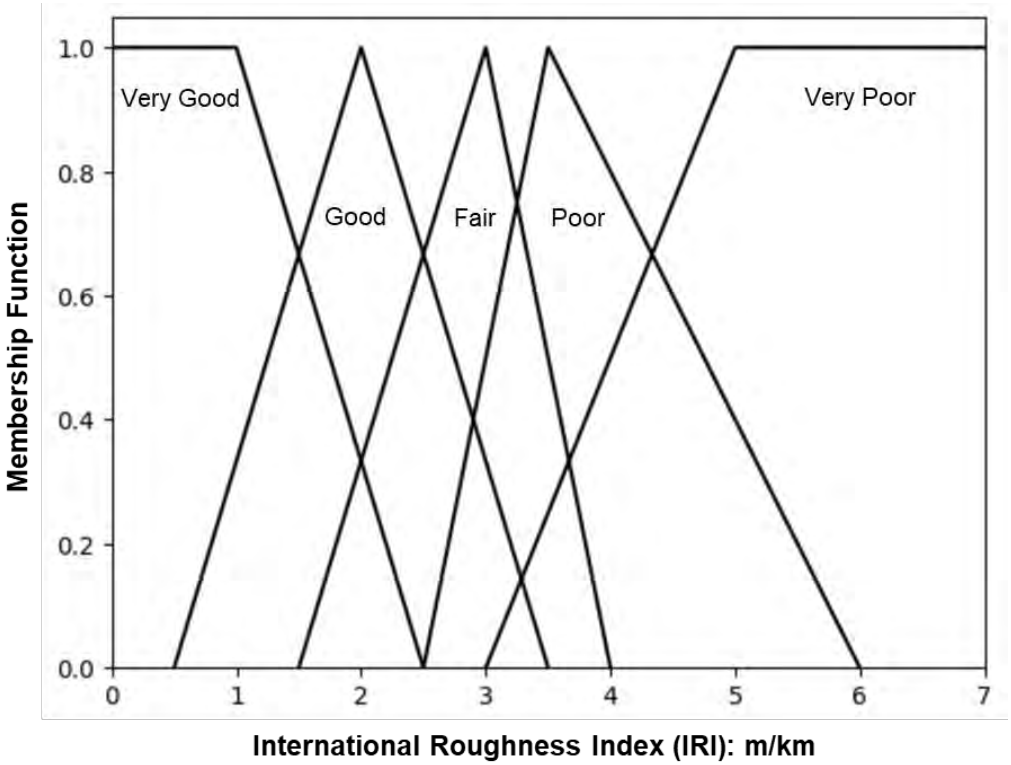
<u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

ถ้า SCI ≤ 0.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = 1}$

ถ้า SCI > 0.5 และ SCI < 0.8 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = \frac{(0.8 - SCI)}{0.3}}$

ถ้า SCI ≥ 0.8 แล้ว $\boldsymbol{\mu(SCI) = 0}$

2. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความเรียบของถนน



รูปที่ 4-9 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความเรียบของถนนของผิวทางลาดยาง

รายละเอียดสมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขความเป็นสมาชิกในแต่ละระดับคุณภาพด้านความเรียบของถนนของผิวทางลาดยาง แสดงดังต่อไปนี้

1. ระดับดีมาก (Very Good)

<u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

ถ้า IRI ≤ 1 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 1}$

ถ้า IRI > 1 และ IRI < 2.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(2.5 - IRI)}{1.5}}$

ถ้า IRI ≥ 2.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 0}$

2. ระดับดี (Good)

<u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

ถ้า IRI ≤ 0.5 หรือ IRI ≥ 3.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 0}$

ถ้า IRI > 0.5 และ IRI < 2 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(IRI - 0.5)}{1.5}}$

ถ้า IRI ≥ 2 และ IRI < 3.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(3.5 - IRI)}{1.5}}$

3. ระดับปานกลาง (Fair)

<u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

ถ้า IRI ≤ 1.5 หรือ IRI ≥ 4 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 0}$

ถ้า IRI > 1.5 และ IRI < 3 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(IRI - 1.5)}{1.5}}$

ถ้า IRI ≥ 3 และ IRI < 3.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(4 - IRI)}{1}}$

4. ระดับแย่ (Poor)

<u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

ถ้า IRI ≤ 2.5 หรือ IRI ≥ 6 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 0}$

ถ้า IRI > 2.5 และ IRI < 3.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(IRI - 2.5)}{1}}$

ถ้า IRI ≥ 3.5 และ IRI < 6 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(6 - IRI)}{2.5}}$

5. ระดับแย่มาก (Very Poor)

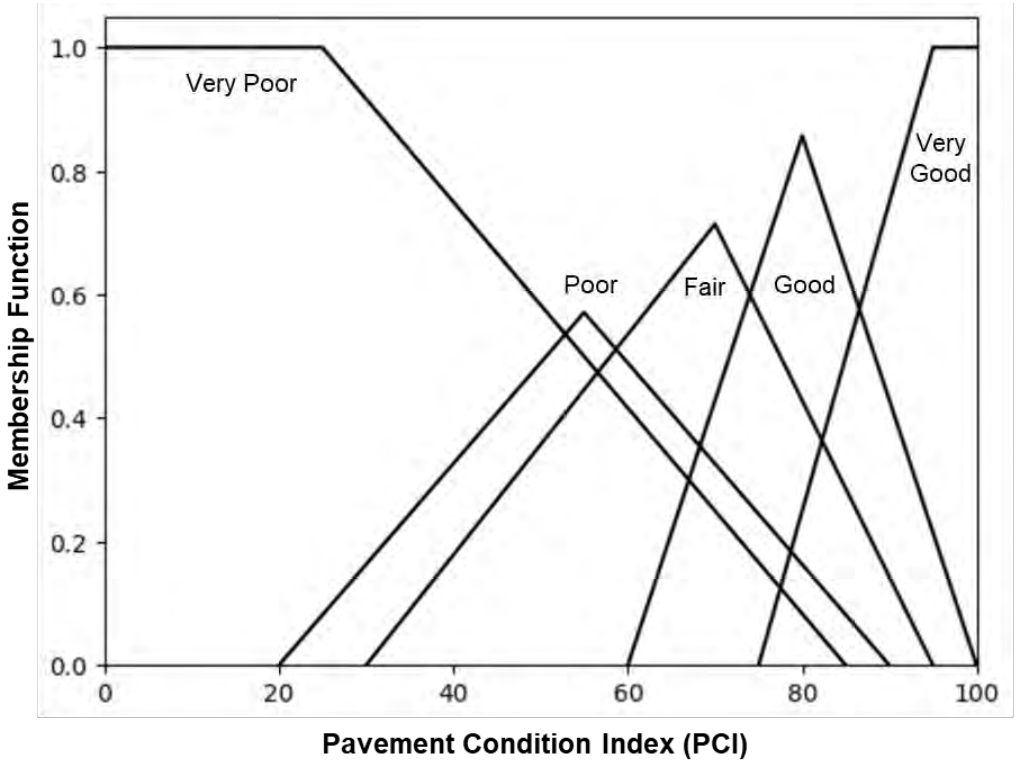
<u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

ถ้า IRI ≤ 3 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 0}$

ถ้า IRI > 3 และ IRI < 5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(IRI - 3)}{2}}$

ถ้า IRI ≥ 5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 1}$

3. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความเสียหายของผิวทาง



รูปที่ 4-10 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความเสียหายของผิวทางลาดยาง

รายละเอียดสมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขความเป็นสมาชิกในแต่ละระดับคุณภาพด้านความเสียหายของผิวทางลาดยาง แสดงดังต่อไปนี้

1. ระดับดีมาก (Very Good)

<u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

ถ้า PCI ≤ 75 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 0}$

ถ้า PCI > 75 และ PCI < 95 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \frac{(PCI - 75)}{20}}$

ถ้า PCI ≥ 95 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 1}$

2. ระดับดี (Good)

<u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

ถ้า PCI ≤ 60 หรือ PCI ≥ 100 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 0}$

ถ้า PCI > 60 และ PCI < 80 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \left(\frac{6}{7}\right) \times \frac{(PCI - 60)}{20}}$

ถ้า PCI ≥ 80 และ PCI < 100 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \left(\frac{6}{7}\right) \times \frac{(PCI - 100)}{20}}$

3. ระดับปานกลาง (Fair)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า PCI ≤ 30 หรือ PCI ≥ 95 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 0}$

   ถ้า PCI > 30 และ PCI < 70 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \left(\frac{5}{7}\right) \times \frac{(PCI - 30)}{40}}$

   ถ้า PCI ≥ 70 และ PCI < 95 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \left(\frac{5}{7}\right) \times \frac{(PCI - 95)}{25}}$

4. ระดับแย่ (Poor)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า PCI ≤ 20 หรือ PCI ≥ 90 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 0}$

   ถ้า PCI > 20 และ PCI < 55 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \left(\frac{4}{7}\right) \times \frac{(PCI - 20)}{35}}$

   ถ้า PCI ≥ 55 และ PCI < 90 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \left(\frac{4}{7}\right) \times \frac{(PCI - 90)}{35}}$

5. ระดับแย่มาก (Very Poor)

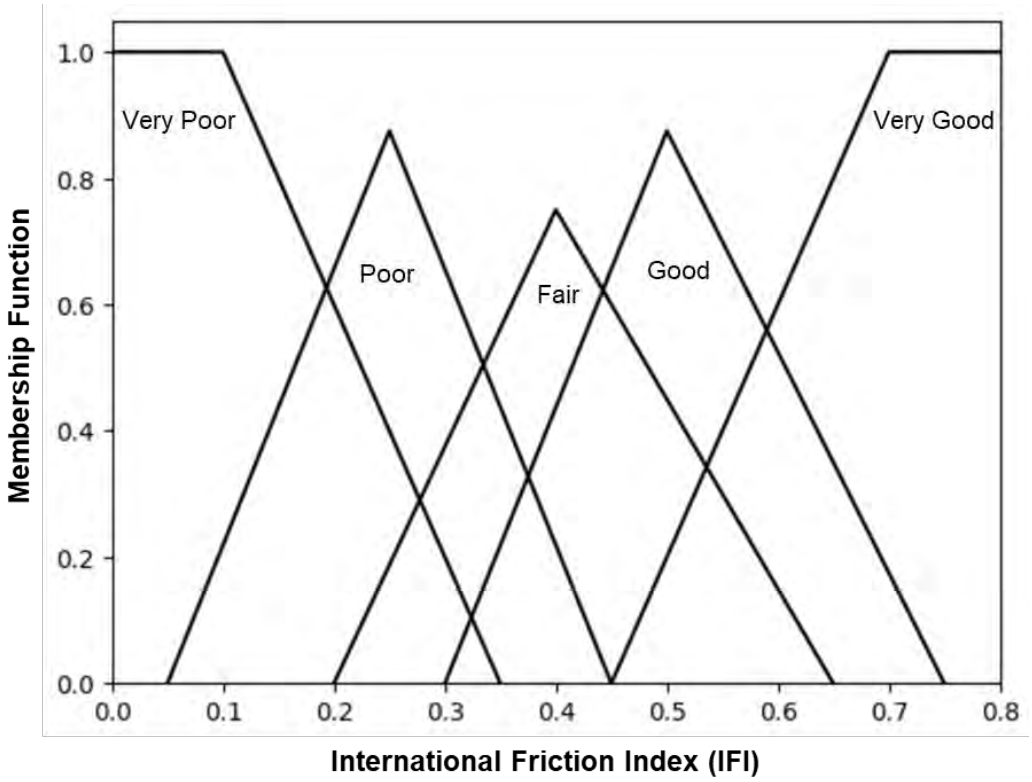
   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า PCI ≤ 25 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 1}$

   ถ้า PCI > 25 และ PCI < 85 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \frac{(85 - PCI)}{60}}$

   ถ้า PCI ≥ 85 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 0}$

4. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความต้านทานการลื่นไถล



รูปที่ 4-11 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางลาดยาง

รายละเอียดสมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขความเป็นสมาชิกในแต่ละระดับคุณภาพด้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางลาดยาง แสดงดังต่อไปนี้

1. ระดับดีมาก (Very Good)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า IFI ≤ 0.45 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 0}$

   ถ้า IFI > 0.45 และ IFI < 0.7 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \frac{(IFI - 0.45)}{0.25}}$

   ถ้า IFI ≥ 0.7 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 1}$

2. ระดับดี (Good)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า IFI ≤ 0.3 หรือ IFI ≥ 0.75 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 0}$

   ถ้า IFI > 0.3 และ IFI < 0.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \left(\frac{7}{8}\right) \times \frac{(IFI - 0.3)}{0.2}}$

   ถ้า IFI ≥ 0.5 และ IFI < 0.75 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \left(\frac{7}{8}\right) \times \frac{(0.75 - IFI)}{0.25}}$

3. ระดับปานกลาง (Fair)

<u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

ถ้า IFI ≤ 0.2 หรือ IFI ≥ 0.65 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 0}$

ถ้า IFI x > 0.2 และ IFI < 0.4 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \left(\frac{6}{8}\right) \times \frac{(IFI - 0.2)}{0.2}}$

ถ้า IFI ≥ 0.4 และ IFI < 0.65 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \left(\frac{6}{8}\right) \times \frac{(0.65 - IFI)}{0.25}}$

4. ระดับแย่ (Poor)

<u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

ถ้า IFI ≤ 0.05 หรือ IFI ≥ 0.45 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 0}$

ถ้า IFI > 0.05 และ IFI < 0.25 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \left(\frac{7}{8}\right) \times \frac{(IFI - 0.05)}{0.2}}$

ถ้า IFI ≥ 0.25 และ IFI < 0.45 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \left(\frac{7}{8}\right) \times \frac{(0.45 - IFI)}{0.2}}$

5. ระดับแย่มาก (Very Poor)

<u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

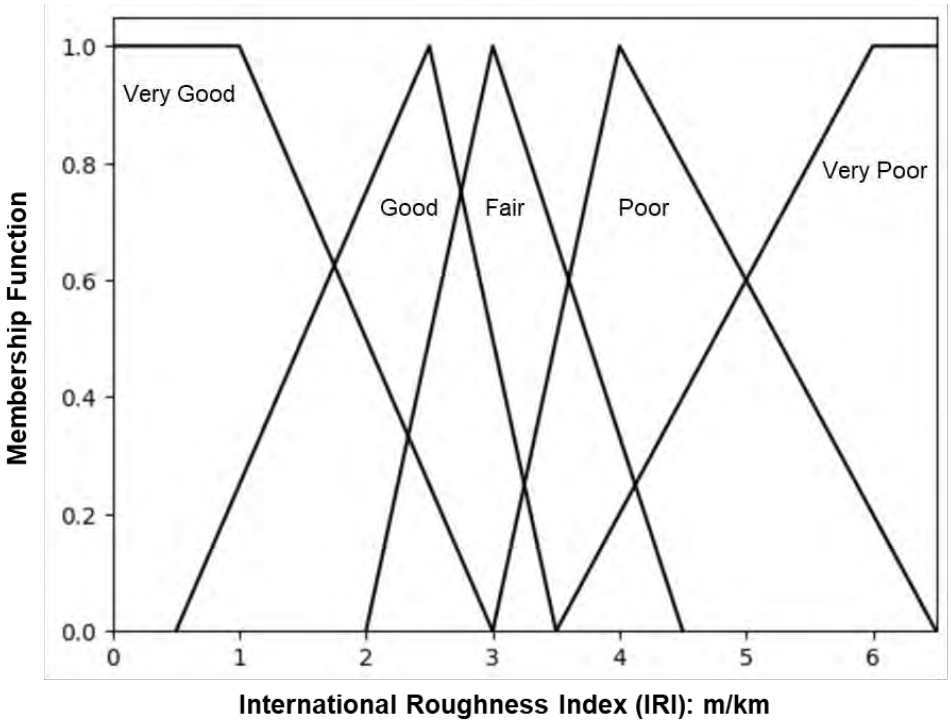
ถ้า IFI ≤ 0.1 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 1}$

ถ้า IFI > 0.1 และ IFI < 0.35 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \frac{(0.35 - IFI)}{0.25}}$

ถ้า IFI ≥ 0.35 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 0}$

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของผิวทางคอนกรีต

1. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความเรียบของถนน



รูปที่ 4-12 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความเรียบของถนนของผิวทางคอนกรีต

รายละเอียดสมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขความเป็นสมาชิกในแต่ละระดับคุณภาพด้านความเรียบของถนนของผิวทางคอนกรีต แสดงดังต่อไปนี้

1. ระดับดีมาก (Very Good)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า IRI ≤ 1 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 1}$

   ถ้า IRI > 1 และ IRI < 3 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(3 - IRI)}{2}}$

   ถ้า IRI ≥ 3 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 0}$

2. ระดับดี (Good)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า IRI ≤ 0.5 หรือ IRI ≥ 3.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 0}$

   ถ้า IRI > 0.5 และ IRI < 2.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(IRI - 0.5)}{2}}$

   ถ้า IRI ≥ 2.5 และ IRI < 3.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(3.5 - IRI)}{1}}$

3. ระดับปานกลาง (Fair)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า IRI ≤ 2 หรือ IRI ≥ 4.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 0}$

   ถ้า IRI > 2 และ IRI < 3 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(IRI - 2)}{1}}$

   ถ้า IRI ≥ 3 และ IRI < 4.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(4.5 - IRI)}{1.5}}$

4. ระดับแย่ (Poor)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า IRI ≤ 3 หรือ IRI ≥ 6.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 0}$

   ถ้า IRI > 3 และ IRI < 4 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(IRI - 3)}{1}}$

   ถ้า IRI ≥ 4 และ IRI < 6.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(6.5 - IRI)}{2.5}}$

5. ระดับแย่มาก (Very Poor)

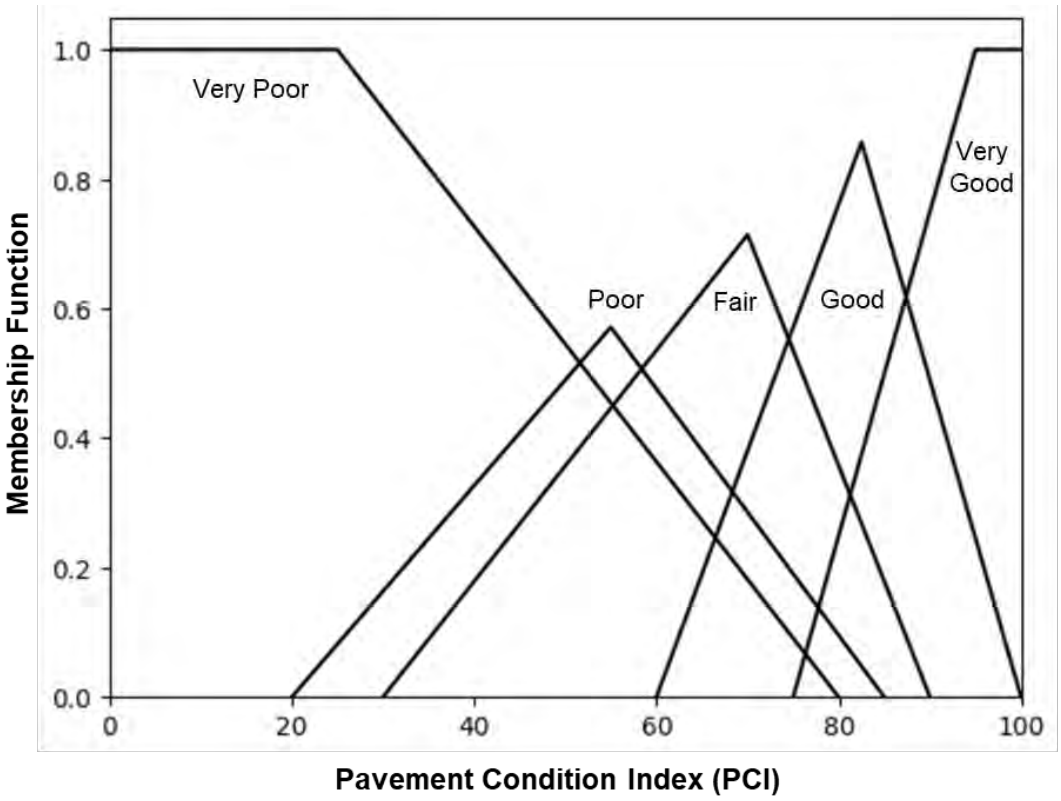
   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า IRI ≤ 3.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 0}$

   ถ้า IRI > 3.5 และ IRI < 6 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = \frac{(IRI - 3.5)}{2.5}}$

   ถ้า IRI ≥ 6 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IRI) = 1}$

2. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความเสียหายของผิวทาง



รูปที่ 4-13 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความเสียหายของผิวทางคอนกรีต

รายละเอียดสมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขความเป็นสมาชิกในแต่ละระดับคุณภาพด้านความเสียหายของผิวทางคอนกรีต แสดงดังต่อไปนี้

1. ระดับดีมาก (Very Good)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า PCI ≤ 75 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 0}$

   ถ้า PCI > 75 และ PCI < 95 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \frac{(PCI - 75)}{20}}$

   ถ้า PCI ≥ 95 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 1}$

2. ระดับดี (Good)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า PCI ≤ 60 หรือ PCI ≥ 100 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 0}$

   ถ้า PCI > 60 และ PCI < 82.5 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \left(\frac{6}{7}\right) \times \frac{(PCI - 60)}{22.5}}$

   ถ้า PCI ≥ 82.5 และ PCI < 100 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \left(\frac{6}{7}\right) \times \frac{(100 - PCI)}{17.5}}$

3. ระดับปานกลาง (Fair)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า PCI ≤ 30 หรือ PCI x ≥ 90 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 0}$

   ถ้า PCI > 30 และ PCI < 70 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \left(\frac{5}{7}\right) \times \frac{(PCI - 30)}{40}}$

   ถ้า PCI ≥ 70 และ PCI < 90 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \left(\frac{5}{7}\right) \times \frac{(90 - PCI)}{20}}$

4. ระดับแย่ (Poor)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า PCI ≤ 20 หรือ PCI ≥ 85 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 0}$

   ถ้า PCI > 20 และ PCI < 55 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \left(\frac{4}{7}\right) \times \frac{(PCI - 20)}{30}}$

   ถ้า PCI ≥ 55 และ PCI < 85 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \left(\frac{4}{7}\right) \times \frac{(85 - PCI)}{30}}$

5. ระดับแย่มาก (Very Poor)

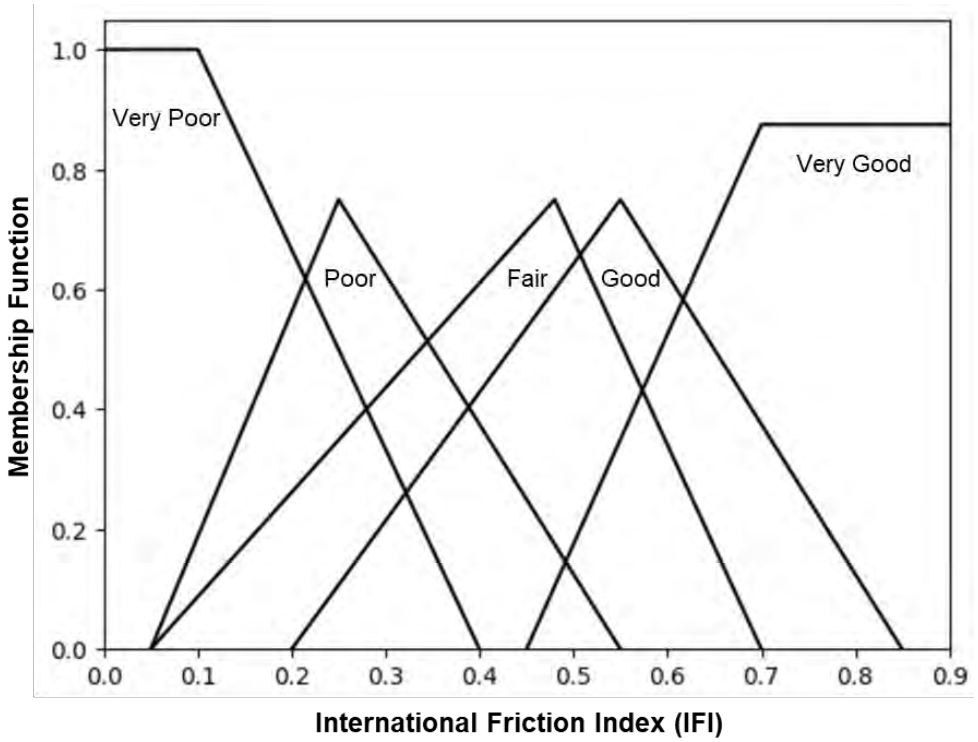
   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า PCI x ≤ 25 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 1}$

   ถ้า PCI > 25 และ PCI < 80 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = \frac{(80 - PCI)}{55}}$

   ถ้า PCI ≥ 80 แล้ว $\boldsymbol{\mu(PCI) = 0}$

3. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความต้านทานการลื่นไถล



รูปที่ 4-14 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางคอนกรีต

รายละเอียดสมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขความเป็นสมาชิกในแต่ละระดับคุณภาพด้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางคอนกรีตแสดงดังต่อไปนี้

1. ระดับดีมาก (Very Good)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า IFI ≤ 0.45 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 0}$

   ถ้า IFI > 0.45 และ IFI < 0.7 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \left(\frac{7}{8}\right) \times \frac{(IFI - 0.45)}{0.25}}$

   ถ้า IFI ≥ 0.7 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 1}$

2. ระดับดี (Good)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า IFI ≤ 0.2 หรือ IFI ≥ 0.85 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 0}$

   ถ้า IFI > 0.2 และ IFI < 0.55 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \left(\frac{6}{8}\right) \times \frac{(IFI - 0.2)}{0.35}}$

   ถ้า IFI ≥ 0.55 และ IFI < 0.85 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \left(\frac{6}{8}\right) \times \frac{(0.85 - IFI)}{0.3}}$

3. ระดับปานกลาง (Fair)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า IFI ≤ 0.05 หรือ IFI ≥ 0.7 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 0}$

   ถ้า IFI > 0.2 และ IFI < 0.48 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \left(\frac{6}{8}\right) \times \frac{(IFI - 0.2)}{0.43}}$

   ถ้า IFI ≥ 0.48 และ IFI < 0.7 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \left(\frac{6}{8}\right) \times \frac{(0.7 - IFI)}{0.22}}$

4. ระดับแย่ (Poor)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า IFI ≤ 0.05 หรือ IFI ≥ 0.55 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 0}$

   ถ้า IFI > 0.05 และ IFI < 0.25 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \left(\frac{7}{8}\right) \times \frac{(IFI - 0.05)}{0.2}}$

   ถ้า IFI ≥ 0.25 และ IFI < 0.55 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \left(\frac{7}{8}\right) \times \frac{(0.55 - IFI)}{0.3}}$

5. ระดับแย่มาก (Very Poor)

   <u>สมการที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไข</u>

   ถ้า IFI ≤ 0.1 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 1}$

   ถ้า IFI > 0.1 และ IFI < 0.4 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = \frac{(0.4 - IFI)}{0.3}}$

   ถ้า IFI ≥ 0.4 แล้ว $\boldsymbol{\mu(IFI) = 0}$

3) วิเคราะห์ตามแนวทางการดำเนินงานของกรมทางหลวง

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ดัชนีทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน ความเรียบของถนน ความเสียหายของผิวทาง และความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง ตามแนวทางของกรมทางหลวง โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลแยกในแต่ละลำดับชั้นของถนน (Road Hierarchy) มีรายละเอียดดังนี้

- **ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (Motorway)**



เป็นโครงข่ายทางหลวงที่ถูกออกแบบให้รองรับปริมาณจราจรสูง มีการควบคุมการเข้าออกเส้นทางอย่างสมบูรณ์ เพื่อให้การจราจรผ่านได้อย่างรวดเร็ว มีโครงข่ายเชื่อมโยงกรุงเทพมหานครไปยังภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศ หรือ เป็นเส้นทางวงแหวนรอบกรุงเทพมหานคร ตลอดจนเป็นเส้นทางเชื่อมโยงระหว่างภูมิภาคสำคัญกับประเทศเพื่อนบ้าน

- **ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 1 (Link 1 – National Highway and AH Highway)**



เป็นทางหลวงที่เชื่อมโยงสถานที่ที่มีความสำคัญระดับประเทศ หรือเชื่อมโยงระหว่างประเทศหรือภูมิภาคต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

- **ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 2 (Link 2 – Regional Highway)**



เป็นทางหลวงที่เชื่อมโยงสถานที่ที่มีความสำคัญในระดับภูมิภาค และเชื่อมโยงระหว่างจังหวัดต่าง ๆ ที่อยู่ภายในภูมิภาคเข้ากับเมืองศูนย์กลางของภูมิภาค หรือเป็นโครงข่ายต่อเนื่องจากทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 1 (Link l) ในการกระจาย การเดินทางไปยังจังหวัดภายในภูมิภาค

- **ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 3 (Link 3 - Provincial Highway)**



เป็นทางหลวงที่เชื่อมโยงโครงข่ายภายในจังหวัดหรือเส้นทางที่เชื่อมโยงระหว่างอำเภอที่อยู่ภายในจังหวัด หรือจังหวัดใกล้เคียง หรือเป็นโครงข่ายเชื่อมโยงมาจากทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 2 (Link II) ในการกระจายพื้นที่การให้บริการของทางหลวงไปยังสถานที่สำคัญระดับจังหวัด

- **ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 4 (Link 4 - District Highway)**



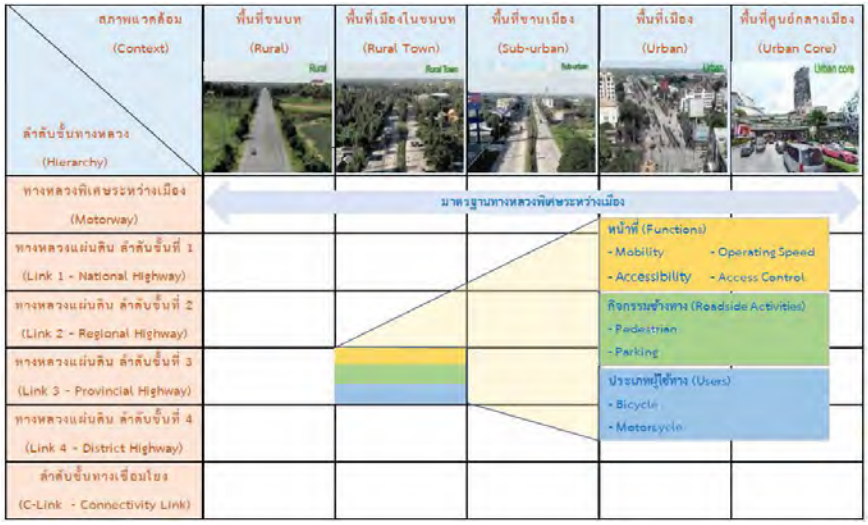
เป็นทางหลวงที่เชื่อมโยงการเดินทางภายในอำเภอหรือระหว่างตำบล รวมถึงเชื่อมโยงกับโครงข่ายถนนย่อยของหน่วยงานท้องถิ่นและทางหลวงชนบท หรือเป็นโครงข่ายเชื่อมโยงมาจากทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 3 (Link III) เพื่อกระจายพื้นที่การให้บริการของโครงข่ายทางหลวงไปยังเขตชุมชนที่อยู่อาศัยหรือถนนของหน่วยงานในระดับพื้นที่

- **ลำดับชั้นเชื่อมโยง (C-Link – Connecting Link)**



เป็นทางหลวงประเภทอื่น หรือถนนที่ไม่ใช่ดูแลโดยหน่วยงานภาครัฐที่มาเชื่อมกับทางหลวงแผ่นดิน ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะช่วงถนนที่เชื่อมต่อกับทางหลวงแผ่นดิน

รายละเอียดของตารางการจำแนกลำดับชั้นทางหลวงแผ่นดิน แสดงดังรูปที่ 4-15



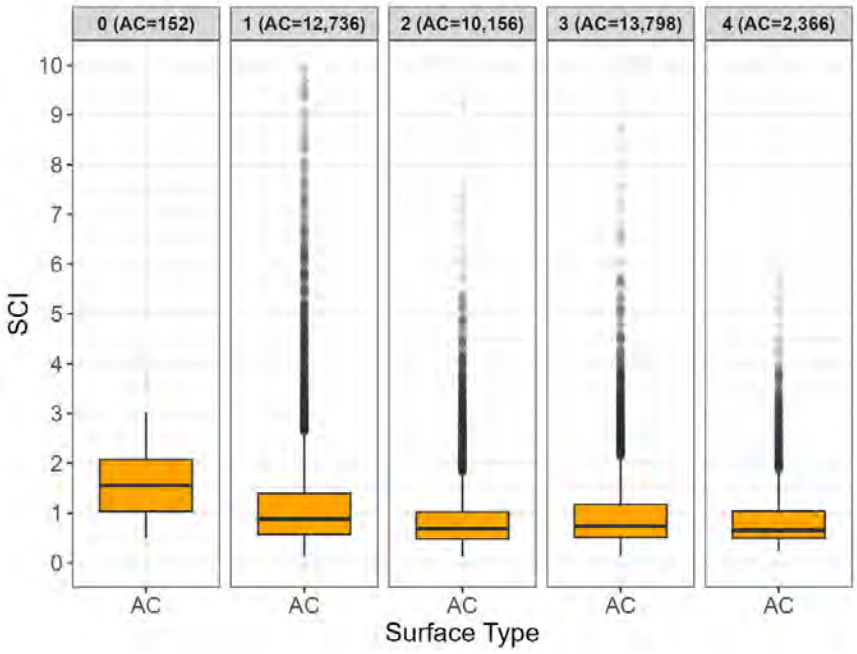
ที่มา : กรมทางหลวง สำนักแผนงาน

รูปที่ 4-15 การจำแนกลำดับชั้นทางหลวงแผ่นดิน

- **ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (Structural Coefficient Index, SCI)**

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างถนนในแต่ละลำดับชั้นถนน แสดงดังรูปที่ 4-16

โดยที่ หมายเลข 0 คือ ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง
หมายเลข 1 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 1
หมายเลข 2 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 2
หมายเลข 3 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 3
หมายเลข 4 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 4

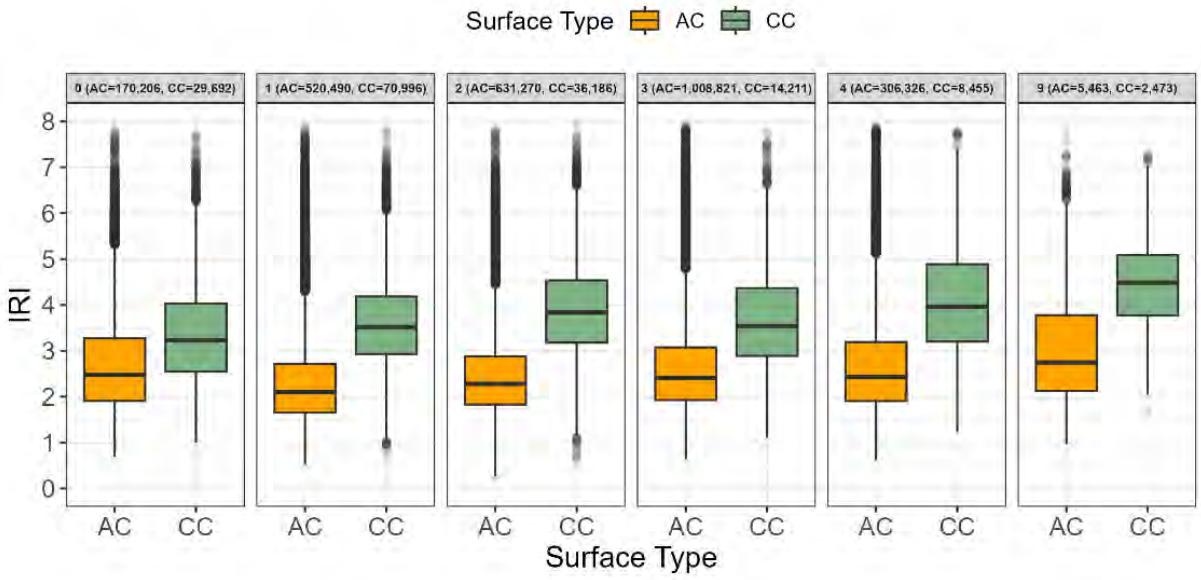


รูปที่ 4-16 ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างถนนในแต่ละลำดับชั้นถนน

- **ความเรียบของถนน (International Roughness Index , IRI)**

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ความเรียบของถนนในแต่ละลำดับชั้นถนน แสดงดังรูปที่ 4-17

โดยที่ หมายเลข 0 คือ ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง
หมายเลข 1 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 1
หมายเลข 2 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 2
หมายเลข 3 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 3
หมายเลข 4 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 4
หมายเลข 9 คือ ลำดับชั้นทางเชื่อมโยง

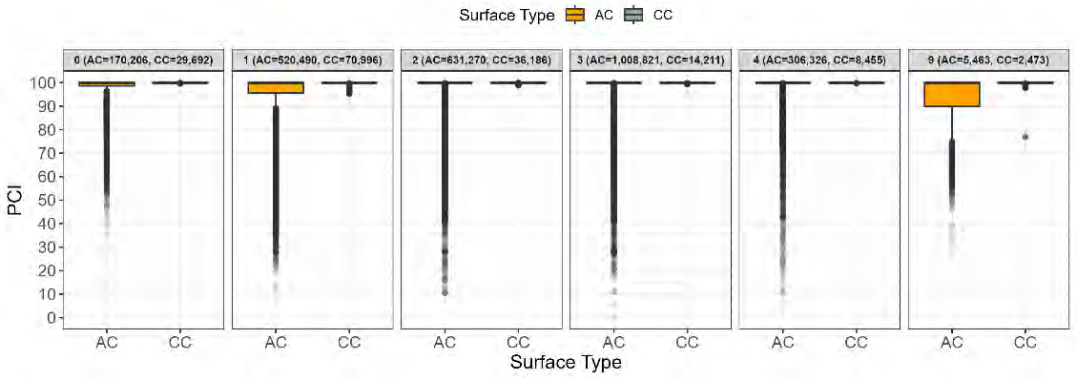


รูปที่ 4-17 ค่าความเรียบของถนนในแต่ละลำดับชั้นถนน

- **ความเสียหายของผิวทาง (Pavement Condition Index, PCI)**

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทางในแต่ละลำดับชั้นถนน แสดงดังรูปที่ 4-18

โดยที่ หมายเลข 0 คือ ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง
หมายเลข 1 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 1
หมายเลข 2 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 2
หมายเลข 3 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 3
หมายเลข 4 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 4
หมายเลข 9 คือ ลำดับชั้นทางเชื่อมโยง

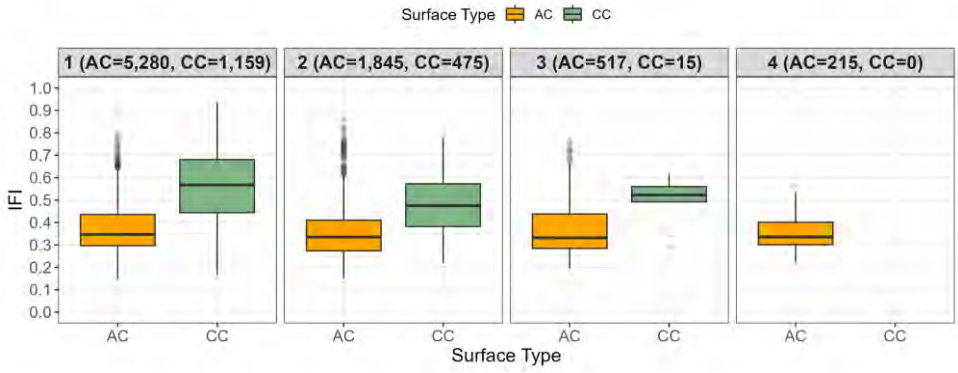


รูปที่ 4-18 ค่าความเสียหายของผิวทางในแต่ละลำดับชั้นถนน

- **ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง (International Friction Index, IFI)**

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางในแต่ละลำดับชั้นถนน แสดงดังรูปที่ 4-19

โดยที่ หมายเลข 1 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 1
หมายเลข 2 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 2
หมายเลข 3 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 3
หมายเลข 4 คือ ทางหลวงแผ่นดินลำดับชั้นที่ 4



รูปที่ 4-19 ค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางในแต่ละลำดับชั้นถนน

4) ประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะ (Performance Analysis) โดยอาศัยข้อมูลที่มีของกรมทางหลวง และข้อมูลที่ได้จากโครงการ

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการกำหนดค่าดัชนีขึ้นจากวิธีวิเคราะห์สมรรถนะของโครงสร้างถนนที่ได้จากการนำข้อมูลในหัวข้อ 2.2 และ 3.1 เพื่อนำมาใช้ในการประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะ โดยเรียกว่า ดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง (Performance Maintenance Index) เป็นการคำนวณค่าดัชนีสมรรถนะของโครงสร้างถนนของถนนที่สำรวจกับค่าน้ำหนักสำคัญและเซตความเป็นสมาชิกของดัชนีสมรรถนะของโครงสร้างถนนที่ได้จากหัวข้อที่ 4.1 โดยสามารถคำนวณค่าดัชนีบำรุงรักษาผิวทางได้ดังสมการต่อไปนี้

$$PMI = W_{AHP} \otimes Fuzzy\ set_{norm}$$

$$PMI = (W_{SCI}, W_{IRI}, W_{PCI}, W_{IFI})$$

$$\otimes$$

$$\begin{pmatrix} Fuzzy\ set_{SCI} = (\mu_{VG}(SCI), \mu_G(SCI), \mu_F(SCI), \mu_P(SCI), \mu_{VP}(SCI)) \\ Fuzzy\ set_{IRI} = (\mu_{VG}(IRI), \mu_G(IRI), \mu_F(IRI), \mu_P(IRI), \mu_{VP}(IRI)) \\ Fuzzzy\ set_{PCI} = (\mu_{VG}(PCI), \mu_G(PCI), \mu_F(PCI), \mu_P(PCI), \mu_{VP}(PCI)) \\ Fuzzt\ set_{IFI} = (\mu_{VG}(IFI), \mu_G(IFI), \mu_F(IFI), \mu_P(IFI), \mu_{VP}(IFI)) \end{pmatrix}$$

โดยที่ $\boldsymbol{W_{AHP}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญของดัชนีสมรรถนะของโครงสร้างถนน

$\boldsymbol{W_{SCI}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญด้านความแข็งแรงของโครงสร้างถนน

$\boldsymbol{W_{IRI}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญด้านความเรียบของผิวทาง

$\boldsymbol{W_{PCI}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญด้านความเสียหายของผิวทาง

$\boldsymbol{W_{IFI}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญด้านความต้านทานการลื่นไถล

$\boldsymbol{Fuzzy\ set}$ คือ เซตความเป็นสมาชิกของดัชนีสมรรถนะของโครงสร้างถนน

$\boldsymbol{\mu_{VG}}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพดีมาก (Very Good)

$\boldsymbol{\mu_G}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพดี (Good)

$\boldsymbol{\mu_F}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพปานกลาง (Fair)

$\boldsymbol{\mu_P}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพแย่ (Poor)

$\boldsymbol{\mu_{VP}}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพแย่มาก (Very Poor)

เมื่อได้เซตค่าความเป็นสมาชิกของ PMI จากสมการข้างต้นแล้ว จะสามารถหาระดับคุณภาพของถนนได้จากการอ่านค่าความเป็นสมาชิก ($\boldsymbol{\mu}$) ที่ได้ โดยระดับคุณภาพของถนนเส้นนั้น ๆ จะมีระดับคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับที่มีค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพมากที่สุด ดังแสดงในตัวตัวอย่างดังต่อไปนี้

ตัวอย่างผลการคำนวณเซตค่าความเป็นสมาชิกและการอ่านค่าระดับคุณภาพของดัชนีบำรุงรักษาผิวทางของ*ถนนลาดยาง*

$$Fuzzy\ set_{PMI} = (\mu_{VG}, \mu_G, \mu_F, \mu_P, \mu_{VP})$$

$$Fuzzy\ set_{PMI} = (\mathbf{0.6083}, 0.0942, 0.0906, 0.1513, 0.0557)$$

จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่าค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพดีมาก (Very Good) ของถนนเส้นนี้มีค่ามากที่สุด จึงสามารถสรุปได้ว่าถนนเส้นนี้อยู่ใน*เกณฑ์ระดับคุณภาพดีมาก*

สำหรับการคำนวณค่าดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง หรือ PMI สามารถคำนวณได้จากการนำค่าความเป็นสมาชิกในแต่ละระดับคุณภาพไปคำนวณคะแนน โดยมีคะแนนตั้งแต่ 1 - 5 (โดย 5 หมายถึงค่าคะแนนของระดับคุณภาพดีมาก) จะได้ค่า PMI ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$Fuzzy\ set_{PMI} = (0.6082, 0.0942, 0.0906, 0.1513, 0.0557)$$

$$\otimes$$

$$Fuzzy\ set_{score} = (5, 4, 3, 2, 1)$$

$$PMI = 4.0479$$

จากการคำนวณค่าดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง (PMI) ของข้อมูลทั้งหมด* ได้ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4-24

ตารางที่ 4-24 สัดส่วนข้อมูล PMI ในแต่ละเกณฑ์

เกณฑ์	ผิวทางลาดยาง	ผิวทางคอนกรีต
ดีมาก	86.62%	100.00%
ดี	8.95%	0.00%
ปานกลาง	3.17%	0.00%
แย่	0.00%	0.00%
แย่มาก	1.26%	0.00%

หมายเหตุ : ข้อมูลทั้งหมดที่นำมาคำนวณค่า PMI หมายถึง ข้อมูลสายทางที่มีการสำรวจค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะโครงสร้างถนนครบทั้ง 4 ด้านเท่านั้น โดยข้อมูลทางหลวงที่นำมาคำนวณค่า PMI เป็นเพียงส่วนหนึ่งของถนนทั้งประเทศ อาจจะไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนสมรรถนะของถนนทั้งประเทศได้

นอกจากการหาค่า PMI ซึ่งเป็นการวัดระดับคุณภาพของถนนในภาพรวมแล้ว ยังสามารถหาระดับคุณภาพของแต่ละดัชนีได้ด้วยการใช้ค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละดัชนีได้ โดยระดับคุณภาพของแต่ละดัชนีของถนนเส้นนั้น ๆ จะมีระดับคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับที่มีค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพมากที่สุด

4.1.2 การวิเคราะห์ประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis)

ที่ปรึกษาได้วิเคราะห์ประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน ด้านความแข็งแรงของโครงสร้างถนน ด้านความเรียบของถนน ด้านความเสียหายของผิวทาง และด้านความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง โดยคำนึงถึงปัจจัยทางด้านวิศวกรรม เพื่อพัฒนาเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจ (Decision Making) ในระดับปฏิบัติการ (Operation Level) เพื่อจัดทำแบบจำลองการพยากรณ์ทางวิศวกรรม โดยมีรายละเอียด โดยแบ่งแบบจำลองเป็น 3 ประเภทตามลักษณะข้อมูลขาเข้า ได้แก่ แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลดัชนีเป็นข้อมูลขาเข้า แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลที่เก็บได้อุปกรณ์สำรวจเป็นข้อมูลขาเข้า และแบบจำลองที่ทำการคัดกรองข้อมูลออกก่อนนำมาใช้เป็นข้อมูลขาเข้า โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลดัชนีเป็นข้อมูลขาเข้า**

1) การวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ (Deterioration)

การวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลักของโครงสร้างถนนทั้ง 4 ด้าน โดยอาศัยหลักการทางวิศวกรรม หรือ หลักสถิติขั้นสูง เช่น การวิเคราะห์ข้อมูล Machine Learning หรือ Artificial Intelligence การวิเคราะห์โดยอ้างอิงงานวิจัยที่ผ่านมา เป็นต้น ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยในอดีต พบว่า มีการวิเคราะห์ข้อมูลการเสื่อมสภาพของผิวทางโดยใช้วิธี Machine Learning ที่นิยมใช้ด้วยกันหลายวิธี (Cano-Ortiz et al., 2022; Choi & Do, 2019; Shtayat et al., 2022) อาทิเช่น Random Forest, Artificial Neural Network, Long Short-Term Memory Network

- **แบบจำลอง Random Forest**

แบบจำลอง Random Forest ถูกคิดค้นขึ้นโดย Breiman โดยการผสมผสานกันของต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) หลาย ๆ แบบจำลองแบบสุ่ม โดยแต่ละแบบจำลองจะมีการกระจายตัวแบบเดียวกันทั้งหมด จึงเรียกแบบจำลองที่เกิดจากการรวมกันของแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจว่า Random Forest ซึ่งสามารถใช้แก้ปัญหาได้ทั้งการจัดกลุ่ม (Classification) และการวิเคราะห์เชิงถดถอย (Regression) หลักการทำแบบจำลอง Random Forest คือ การใช้เทคนิค “Boosting” และ “Bagging” (Breiman, 2001)

Breiman อธิบายว่า “Bagging” หรือ “Bootstrap Aggregation” คือ การสุ่มข้อมูลประชากรตัวอย่าง เพื่อมาสร้างแบบจำลอง Classifier สำหรับการสุ่มข้อมูลออกมาจะใช้วิธีการสุ่มแบบแทนที่ (Random with replacement) ซึ่งจะทำการสุ่มข้อมูลมาทำแบบจำลอง Classifier หลายตัว เพื่อให้แบบจำลองที่ทำนายรวบรวมผลลัพธ์ของแต่ละการจัดกลุ่มข้อมูลมาเป็นผลลัพธ์สุดท้าย โดยอาจจะเป็นการโหวตในกรณีการจัดกลุ่ม (Classification) หรือหาค่าเฉลี่ยในกรณีวิเคราะห์เชิงถดถอย (Regression) ซึ่งวิธีนี้จะช่วยลดโอกาสที่แบบจำลองจะ Overfitting กับชุดข้อมูลใหม่ (Breiman, 2001)

Schapire อธิบายว่า “Boosting” คือ การนำแบบจำลอง Classifier ที่มีความแม่นยำต่ำมาทำนายข้อมูล และให้แบบจำลอง Classifier ตัวใหม่มาแก้ไขค่าความผิดพลาด (Error) โดยจะรวมกันเป็นแบบจำลอง Classifier ตัวใหม่ที่มีความแม่นยำมากขึ้น และทำต่อไปเรื่อย ๆ จนเกิดเป็นแบบจำลอง Classifier ที่ดีที่สุด (Bartlett et al., 1998)

โดยแนวคิดของการสร้างแบบจำลอง Random Forest คือ การเพิ่มชุดข้อมูลเพื่อทำแบบจำลองหลาย ๆ ตัวด้วยเทคนิค Bagging โดยผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลอง คือ ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของชุดข้อมูลนั้น โดยอาจจะเลือกปัจจัยในแต่ละ node แตกต่างกัน แตกต่างกับแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) แบบจำลอง Random Forest ใช้แก้ปัญหาได้ทั้งการจัดกลุ่ม (Classification) และการวิเคราะห์เชิงถดถอย (Regression) โดย Liaw ได้อธิบายการสร้าง Random Forest มีขั้นตอนและวิธีการ ดังนี้ (Liaw & Wiener, 2002)

- สร้างชุดข้อมูล n_{tree} bootstrap จากชุดข้อมูลดั้งเดิม
- ในแต่ละชุดข้อมูล bootstrap ปลูกแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ (prune) การจัดกลุ่ม (Classification) หรือการวิเคราะห์เชิงถดถอย (Regression) โดยเลือกผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในแต่ละ node สุ่ม m_{try} ของค่าที่ทำนายตามแต่ละปัจจัย
- ทำนายผลลัพธ์ของแบบจำลอง แล้วนำผลลัพธ์ทั้งหมดมารวมกัน (การโหวตในกรณีการจัดกลุ่ม หรือหาค่าเฉลี่ยในกรณีวิเคราะห์เชิงถดถอย)

- **แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)**

Smith และ Schmidhuber (2015) อธิบายว่า Artificial Neural Network มีพื้นฐานมาจากโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งโครงข่ายประสามเทียม คือ กระบวนการในเชิงการเขียนโปรแกรมที่ได้รับแรงบันดาลใจมากจากโครงข่ายประสาทในสมองของมนุษย์ ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้เพื่อสร้างแบบจำลองจากข้อมูล โครงข่ายประสาทเทียมเป็นรูปแบบพิเศษที่พัฒนามาจาก Acyclic Computational Graph (ACG) ซึ่งประกอบด้วยชั้น Input Layer ชั้น Hidden Layer และชั้น Output Layer โดยแต่ละชั้น layer ประกอบด้วย node จำนวนมากเชื่อมต่อกันทั้ง layer ก่อนหน้า และ layer ถัดไป การเชื่อมต่อกันระหว่าง node จะประกอบด้วยค่าน้ำหนัก (Weighted) และฟังก์ชันแสดงผลที่ส่งออกมา เรียกว่า Activation Function สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการใช้งานโดยทั่วไปจะใช้ Sigmoid Activation Function ภายในชั้น Hidden Layer แสดงดังสมการที่ 4-6

$$a_j^l = \sigma(\sum_i \omega_i^{l,j}\, a_i^{l-1} + b_j^1) \text{ เมื่อ } \sigma = \frac{1}{1+\exp(x)} \quad (4\text{-}6)$$

โดย a_j^l คือ ผลลัพธ์ของ Activation Function ของ node j ใน layer l

$\omega_i^{l,j}$ คือ หน่วยน้ำหนัก (Connection Weight) จาก node i บน layer l-1 ไป node j บน layer l

a_i^{l-1} คือ ผลลัพธ์ของ node i บน layer l-1

b_j^l คือ bias ของ node j บน layer l

Evermann อธิบายว่า โครงข่ายประสาทเทียม คือ เทคนิคการเรียนรู้ โดยมีการสอน (Supervised Learning) โดยผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียม คือ การเปรียบเทียบกับเป้าหมายด้วยค่าเฉลี่ยของ ฟังก์ชันการสูญเสีย (Loss Function) ประเภทของชั้น Output layer และฟังก์ชันการสูญเสีย (Loss Function) มักถูกใช้สำหรับการคำนวณร่วมกันในการ Backpropagation โดย Backpropagation คือ การคำนวณย้อนกลับโดยใช้ปรับปรุงหน่วยน้ำหนักภายในแต่ละ node เพื่อให้ค่า Error ลดลง สำหรับผลลัพธ์เป้าหมายที่เป็นประเภท Categorical จะใช้ Softmax Layer ด้วยฟังก์ชัน Cross - entropy Loss Function (Evermann et al., 2017) แสดงดังสมการที่ 4-7

$$y_i = softmax(a_i) = \frac{\exp(a_i)}{\sum_j \exp(a_j)} H_{y'}(y) = -\sum_i y_i \log(y_i) \quad (4\text{-}7)$$

โดย y คือ ผลลัพธ์ของแบบจำลอง

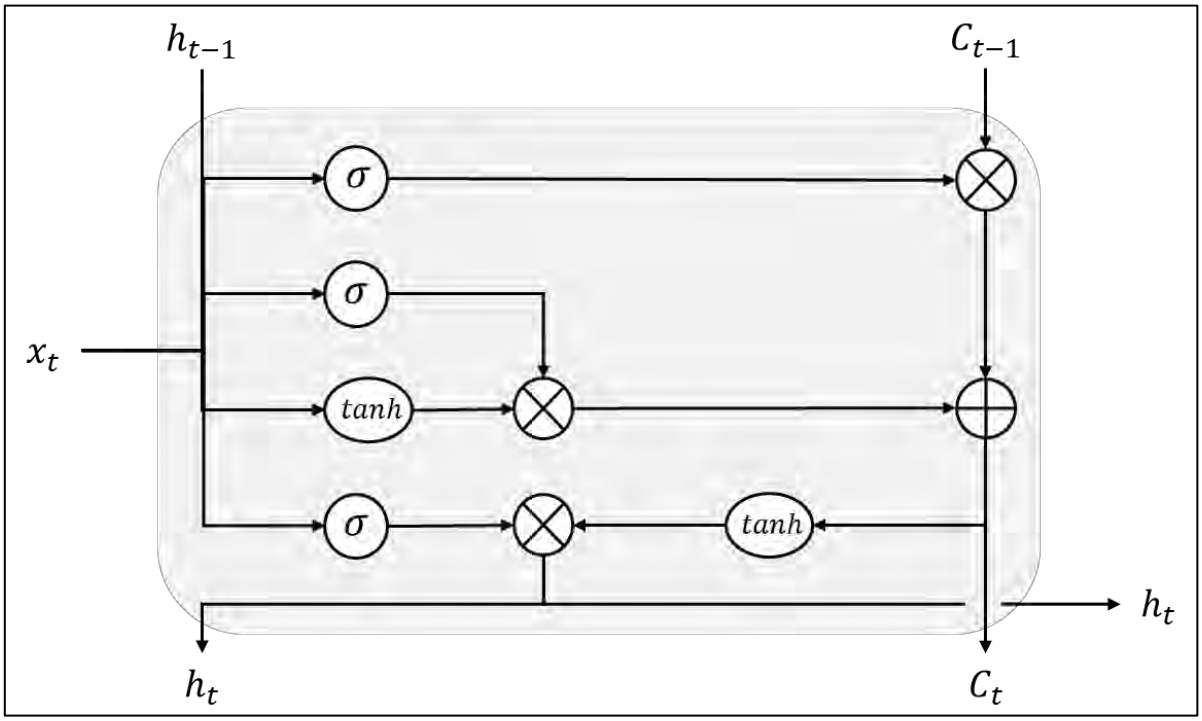
y_i คือ ผลลัพธ์ของ Cross - entropy Loss Function

a_i คือ ผลลัพธ์ของ Activation Function ใน node ที่ i

Smith และ Schmidhuber อธิบายว่า Artificial Neural Network คือ การสร้างการเรียนรู้ที่มีการพัฒนามาจากฟังก์ชันแบบไม่ใช้เส้นตรง (Non-Linear) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับหลาย ๆ การทำนาย โดยปัจจัยหลัก ๆ ที่ทำให้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึกมีประสิทธิภาพสูง คือ การเชื่อมต่อกันระหว่าง node หลาย ๆ node และการปรับหน่วยน้ำหนักไปข้างหน้าและย้อนกลับ (Schmidhuber, 2015)

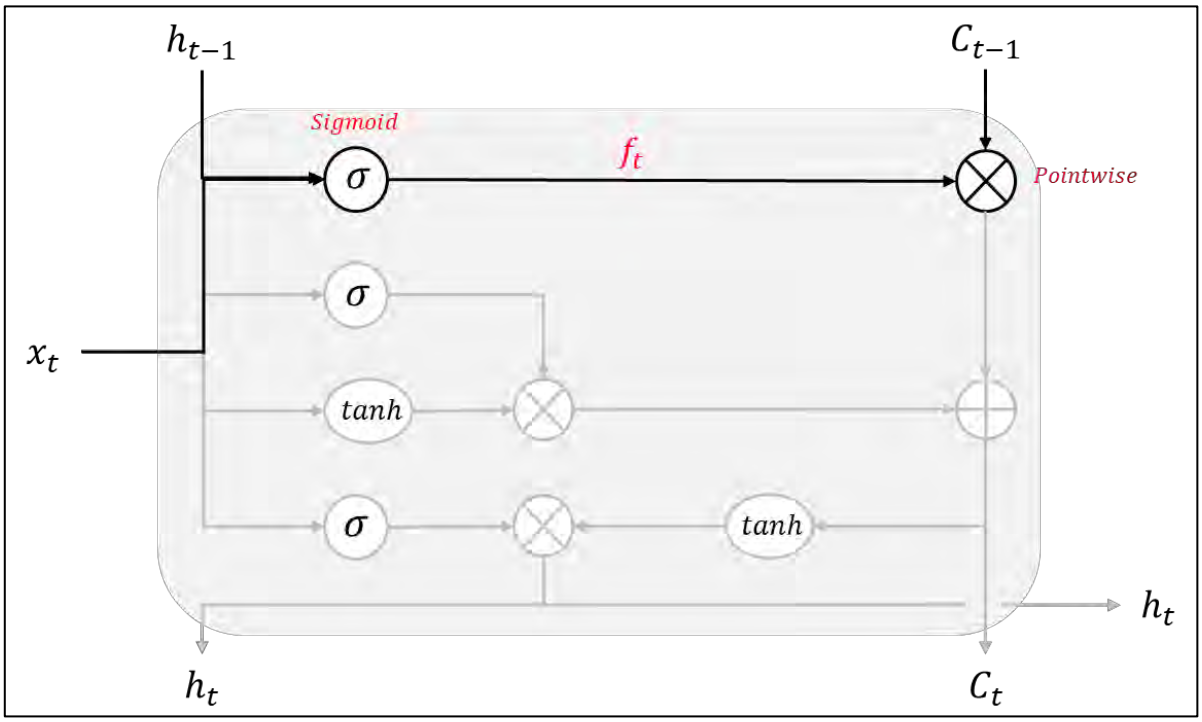
- **Long Short-Term Memory Network (LSTM)**

LSTMs เกิดขึ้นครั้งแรกในปี 1997 โดย Hochreiter และ Schmidnubet (Islek & Ögüdücü, 2018) หลักการ คือ การเก็บสถานะของแต่ละ Node เอาไว้ เพื่อให้ทราบค่าก่อนหน้าเวลาย้อนกลับมาคำนวณ ในพื้นฐานของ RNN นั้นจะมีเพียงฟังก์ชันเดียวภายในที่ใช้คำนวณค่าต่าง ๆ แต่ใน LSTM นั้น ภายในประกอบด้วยฟังก์ชันต่าง ๆ ที่นำมาประกอบกันเพื่อสร้างฟังก์ชันพิเศษ ได้แก่ การอ่านข้อมูล การเขียนข้อมูล การอัพเดตข้อมูล และการลืมข้อมูล ซึ่งทำให้การจดจำข้อมูลในแต่ละ Node เป็นไปได้อย่างคล่องตัวมากขึ้น ซึ่งฟังก์ชันเหล่านี้เปรียบเสมือนประตูที่คอยควบคุมข้อมูลที่เข้ามาในแต่ละ Node ให้เป็นไปตามทิศทางที่ต้องการ แสดงดังรูปที่ 4-20



ที่มา : https://medium.com/@tongkornkitt/ml-lstms.

รูปที่ 4-20 โครงสร้างของ LSTM Cell



ที่มา : https://medium.com/@tongkornkitt/ml-lstms.

รูปที่ 4-21 การทำงานของ Forget Gate Layer

Forget Gate Layer คือ ประตูที่จะใช้เป็นตัวกำหนดว่า ข้อมูลที่เข้ามานั้นสมควรที่จะได้ออกไปทั้งหมด หรือไม่สมควรที่จะมีข้อมูลใด ๆ ออกไปได้เลย แสดงดังรูปที่ 4-22 ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการตัดสินใจว่าจะเก็บข้อมูลนี้ไว้หรือไม่นั้นมาจากข้อมูลขาเข้า ณ Node นั้น ๆ รวมกับผลลัพธ์ที่ถูกคำนวณมาจาก Node ก่อนหน้าผ่านเข้า Sigmoid Function ดังสมการที่ 4-8 แล้วนำไปคูณกับสถานะของ Node ก่อนหน้า

$$f_t = \sigma(w_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (4\text{-}8)$$

โดยที่ f_t คือ ผลลัพธ์ที่ได้จาก Forget Gate Layer ที่เวลา t ใด ๆ

σ คือ Sigmoid Function

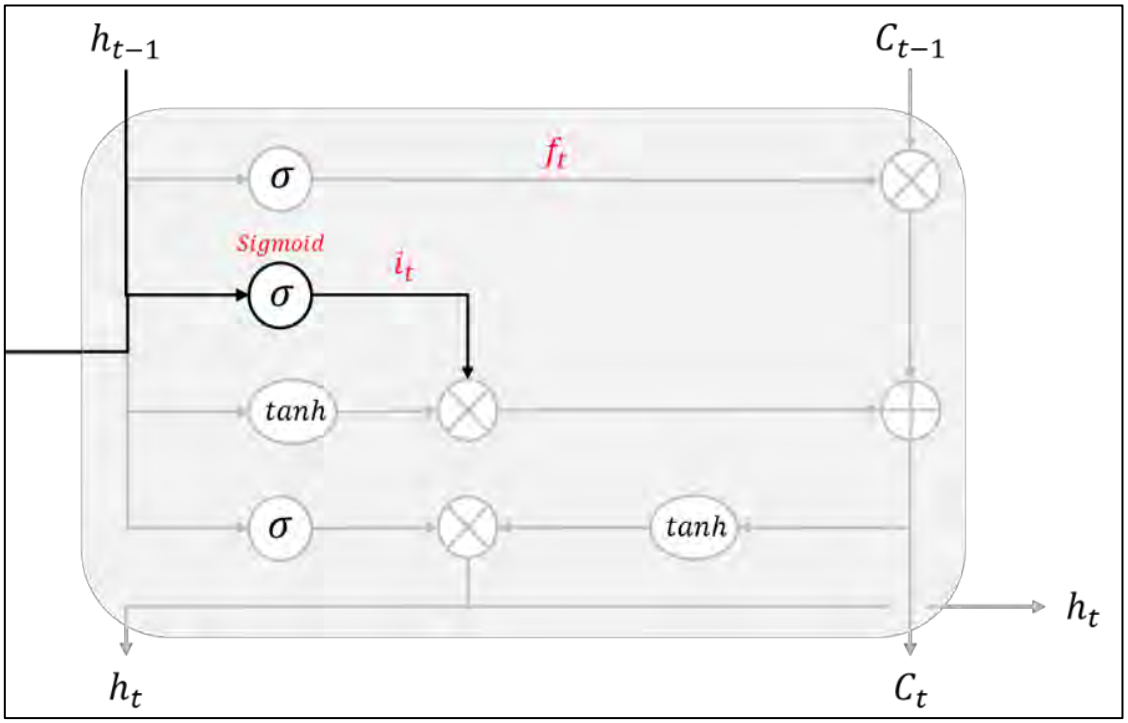
w_f คือ ค่าน้ำหนัก (weight)

h_{t-1} คือ ข้อมูลขาออกในช่วงเวลา t-1

x_t คือ ข้อมูลขาเข้าในช่วงเวลา t

b_f คือ ค่า Bias จาก Forget Gate Layer

ผลลัพธ์ที่ได้ของประตูบานนี้จะอยู่ที่ [0,1] ซึ่งค่า 0 หมายถึง ไม่มีข้อมูลใดที่จะสามารถไหลผ่านไปได้เลย ในขณะที่ 1 หมายถึงปล่อยให้ข้อมูลที่เข้ามาไหลผ่านไปได้ทั้งหมด



ที่มา : https://medium.com/@tongkornkitt/ml-lstms.

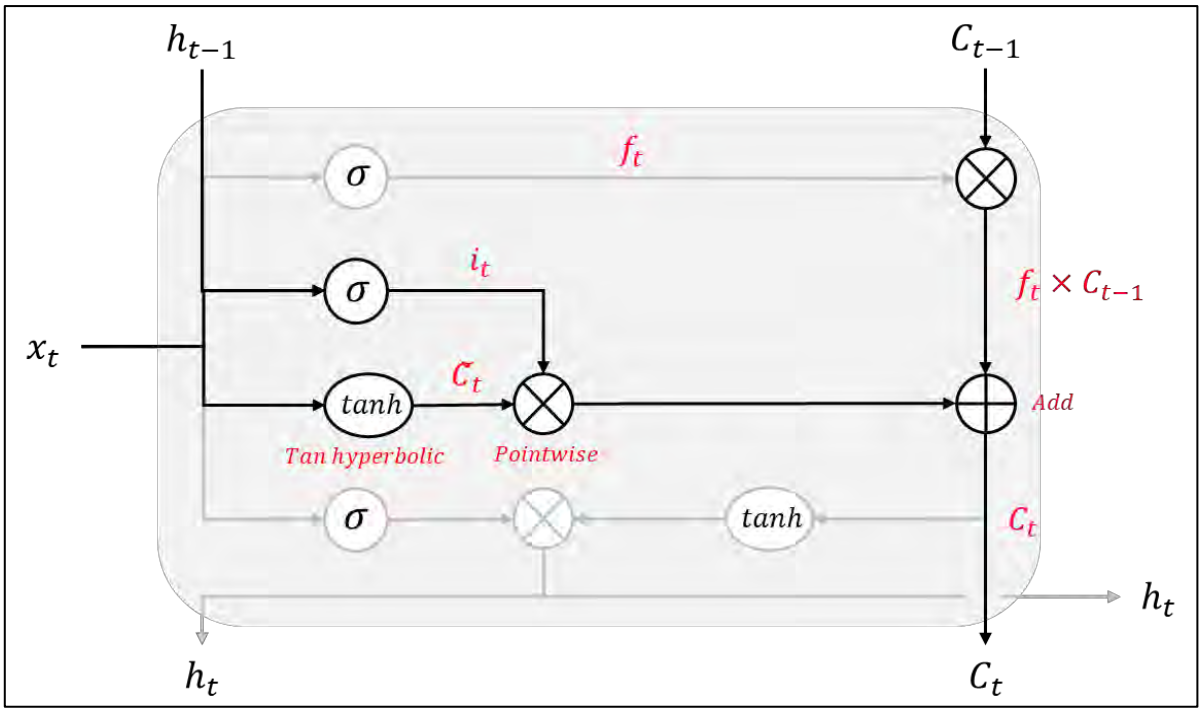
รูปที่ 4-22 การทำงานของ Input Gate Layer

Input Gate Layer คือ ประตูใช้เพื่อเปิดรับข้อมูลที่เข้ามาใหม่เพื่อให้บันทึกลงไปในแต่ละ Node หรือเรียกว่าการ ‘Write’ ข้อมูล ขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 4-23 และการคำนวณดังสมการที่ 4-9

$$i_t = \sigma(w_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \qquad (4\text{-}9)$$

โดยที่ i_t คือ ผลลัพธ์ที่ได้จาก Input Gate Layer ที่เวลา t ใด ๆ

การคำนวณของ Input Gate นั้นจะเหมือนกับการคำนวณข้อมูลขาเข้าของ Forget Gate แต่สิ่งที่แตกต่าง คือ Update Cell Sate



ที่มา : https://medium.com/@tongkornkitt/ml-lstms.

รูปที่ 4-23 การทำงานของ Update Cell State

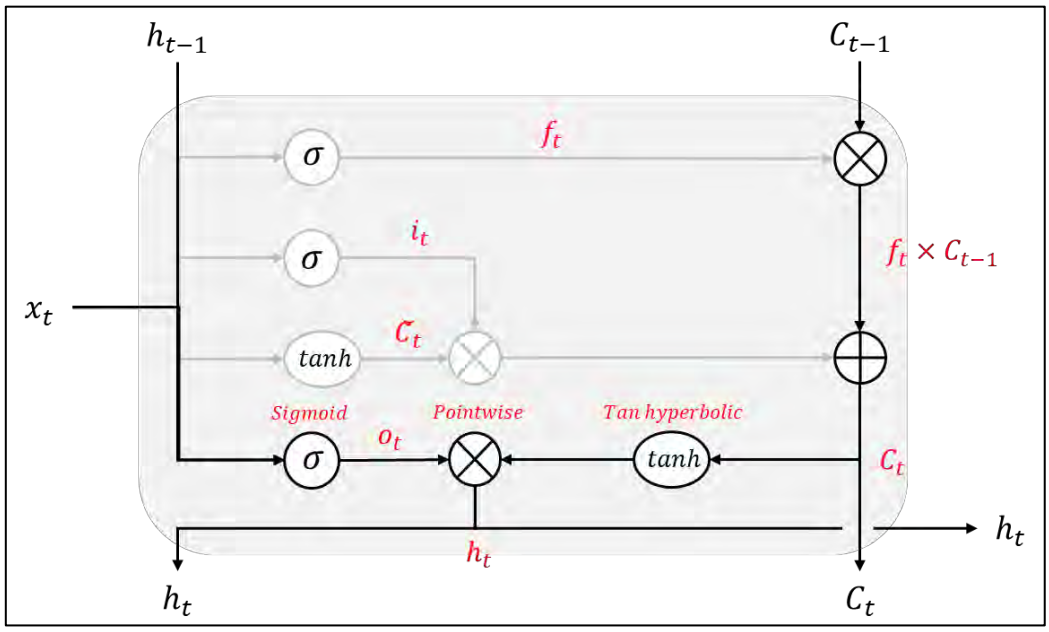
การทำงานของ Update Cell State คือระหว่างที่ Input Gate เปิดประตูเพื่อรับข้อมูลมาจดจำใน Node ตัวเอง แสดงดังรูปที่ 4-11 มีอีก Node หนึ่งที่จะถูกผลักเข้าสู่กระบวนการแปลงค่าโดยฟังก์ชัน Tan Hyperbolic เพื่อให้ได้อีกหนึ่งข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลขาออกจาก Node ดังสมการที่ 4-10

$$\tilde{C}_t = \tanh(w_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \qquad (4\text{-}10)$$

โดยที่ $\tilde{C}_t$ คือ ผลลัพธ์ที่ได้จาก Update Cell State ที่เวลา t ใด ๆ

tanh คือ Tan Hyperbolic Function

หลังจากการคำนวณขั้นตอน Update Cell State แล้วข้อมูลจะถูกนำไปคูณกับข้อมูลที่ได้จาก Input Gate และหลังจากได้ผลลัพธ์นี้ สุดท้ายจะเอาไปรวมกับข้อมูลแรกที่ได้จาก Forget Gate (ซึ่งถูกคูณไปกับสถานะจาก Node ก่อนหน้าแล้ว) อีกครั้ง ซึ่งเมื่อกระบวนการทั้งหมดเสร็จสิ้น ค่าที่ได้ออกมาจะเป็นค่าสถานะใหม่ของ Node นั้น ๆ ที่ผ่านการอัพเดทจาก Node ก่อนหน้า



ที่มา : https://medium.com/@tongkornkitt/ml-lstms.

รูปที่ 4-24 การทำงานของ Output Gate Layer

Output Gate Layer หรือประตูทางออกแสดงดังรูปที่ 4-24 คือ ประตูที่ใช้บอกว่าข้อมูลที่คำนวณได้เตรียมพร้อมจะเป็นข้อมูลขาออก ซึ่งข้อมูลขาออกของแต่ละ Node ใน LSTMs นั้นมีด้วยกันทั้งหมด 2 ค่า คือ 1) ค่าที่เกิดจากการคำนวณโดยมีการ Update สถานะแล้ว (ซึ่งถูกคำนวณจากขั้นตอน Update Cell State) ค่านี้จะถูกส่งต่อทันทีโดยไม่ผ่านฟังก์ชันใด ๆ อีกไปให้ Node ถัดไป 2) ค่าของข้อมูลขาเข้าที่ถูกแปลงค่าผ่านการคำนวณใน Output Gate ค่านี้จะถูกส่งต่อไปเป็นข้อมูลขาเข้าของ Node ถัดไป และยังถูกส่งไปยังผลลัพธ์ของ Node นั้น ๆ ด้วย ค่านี้มีกระบวนการเช่นเดียวกับประตูอื่น ๆ คือ การนำข้อมูลจาก Node ที่แล้วเข้ามารวมกับข้อมูลขาเข้าใน Node นั้น ๆ ผ่านฟังก์ชัน Sigmoid เช่นเดียวกับประตูบานอื่น ๆ แสดงดังสมการที่ 4-11

$$o_t = \sigma(w_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \tag{4-11}$$

โดยที่ o_t คือ ผลลัพธ์ที่ได้จาก Output Gate Layer ที่เวลา t ใด ๆ

ซึ่งสิ่งที่แตกต่างของ Output Gate layer จากประตูอื่นคือ หลังจากที่ผ่านการคำนวณค่า Sigmoid แล้วจะถูกนำมาคูณกับค่าสถานะปัจจุบันของ Node ที่ได้ถูกคำนวณมาเรียบร้อยแล้วจากประตูบานอื่นที่ผ่านมา ซึ่งค่าสถานะนั้นจะถูกนำไปเข้าฟังก์ชัน Tan Hyperbolic หรือ tanh ก่อนดังสมการที่ 4-11 แล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้หลังจากเข้าฟังก์ชันแล้วมาคูณกับค่าที่ออกมาจาก Sigmoid Function

$$h_t = o_t \cdot \tanh(C_t) \qquad (4\text{-}12)$$

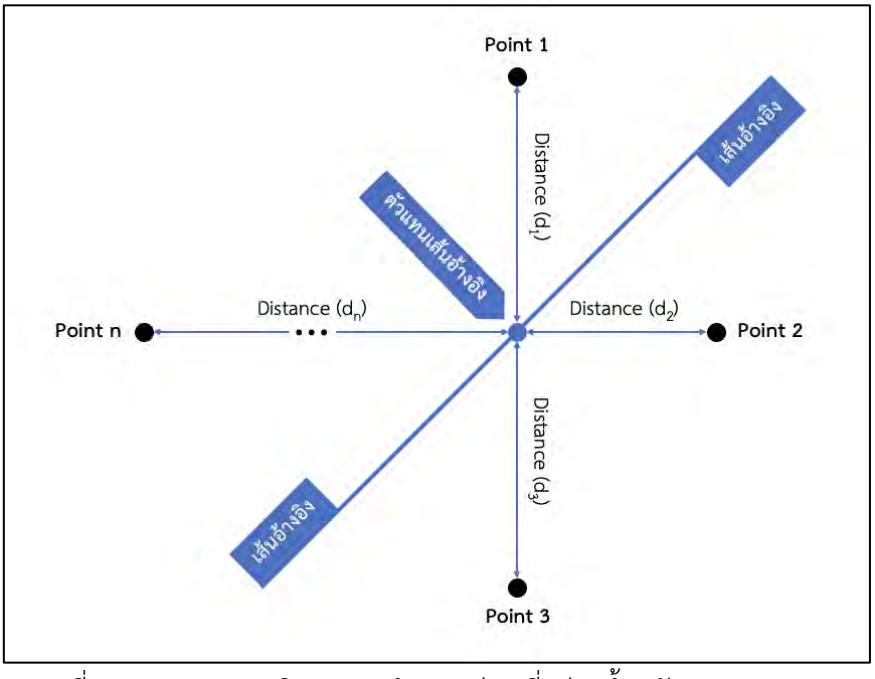
โดยที่ h_t คือ ผลลัพธ์ที่ได้จาก LSTM Cell ที่เวลา t ใด ๆ

ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการกระบวนการนี้จะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนผลลัพธ์ของ Node นั้น ๆ และข้อมูลที่ส่งต่อไปยังข้อมูลขาเข้าใน Node ถัดไป

ข้อเสียของแบบจำลอง LSTM คือ จะไม่แสดงให้เห็นถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ (Relative Importance)

- **การเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามระยะทางสำหรับปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิ**

จากบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.1.4.4 ที่ปรึกษาได้ดำเนินการหาค่าเฉลี่ยของน้ำฝนและอุณหภูมิจากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน และสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งกระจายอยู่ในทุกภูมิภาคทั่วประเทศด้วยวิธีการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามระยะทางที่ห่างออกไปจากจุดอ้างอิง โดยจากหลักการนี้จะกล่าวได้ว่า สำหรับสถานีที่อยู่ห่างออกไป จะมีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักน้อย แต่สำหรับสถานีที่อยู่ใกล้ จะมีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักที่มาก โดยมีตัวอย่างแผนภาพอธิบายแสดงดังรูปที่ 4-25



รูปที่ 4-25 แผนภาพอธิบายการคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามระยะทาง

จากแผนภาพ d_n คือ ระยะห่างของจุดใด ๆ วัดถึงจุดอ้างอิง คำนวณจากพิกัดละติจูด และลองติจูด โดยจะแสดงเป็นค่า 1/d เพื่อการคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก หากเมื่อนำมาแสดงเป็นสมการ แสดงดังสมการที่ 4-13 หากพิจารณาจะพบว่าเมื่อระยะทาง d_n อยู่ห่างออกไปเป็นระยะอนันต์ ค่า w_n จะเข้าใกล้ 0 แต่หากระยะทาง d_n อยู่ใกล้จุดอ้างอิงจนเข้าใกล้ศูนย์ ค่า w_n จะเข้าใกล้ 1

$$W_n = \frac{\frac{1}{d_n}}{\frac{1}{d_1}+\frac{1}{d_2}+\frac{1}{d_3}+\cdots+\frac{1}{d_n}} \quad (4\text{-}13)$$

เมื่อ d_n = ระยะทางจากจุดที่พิจารณาใด ๆ ถึงจุดอ้างอิง

W_n = ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักจากจุดที่พิจารณาใด ๆ

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักจากจุดที่พิจารณาใด ๆ แล้วจึงนำมาคูณกับปริมาณที่สนใจ ในทีนี้คือปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิ แสดงดังสมการที่ 4-14 และ 4-15 ตามลำดับ

$$rain_{avg} = \sum_{i=1}^{n}(w_i \times rain_i) \quad (4\text{-}14)$$

$$temp_{avg} = \sum_{i=1}^{n}(w_i \times temp_i) \quad (4\text{-}15)$$

ทั้งนี้ ที่ปรึกษาได้ดำเนินการคำนวณตามวิธีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยมีตัวอย่างการคำนวณแสดงดังรูปที่ 4-26

st_code	rain_total	temp_max	temp_min	distance	1/distance	weight	rain_total x weight	temp_max x weight	temp_min x weight
517201	241.5	32.2	20.8	9663.721127	0.00010348	0.0077611	1.874294571	0.249905943	0.161429926
353301		34.7	12.1	8752.082825	0.000114259	0.0085695	0	0.297360417	0.10369052
381201		34.5	15.7	8873.866044	0.00011269	0.0084519	0	0.291589128	0.132694183
353201		34	12.5	8746.508105	0.000114331	0.0085749	0	0.291547495	0.107186579
376201	14.3	35.3	16.5	8820.300538	0.000113375	0.0085032	0.121595571	0.300162492	0.140302581
354201		34	14.5	8756.018201	0.000114207	0.0085656	0	0.29123084	0.124201387
303301	51.4	30.4	11.5	8440.857931	0.000118471	0.0088854	0.456711165	0.270117109	0.102182459
424301	2.5	34.8	18.7	9262.928668	0.000107957	0.0080969	0.020242157	0.281770826	0.151411335
568401	92.8	33.3	19.7	10163.4993	9.83913E-05	0.0073794	0.684809561	0.245734465	0.145374444
500301	15.2	33.2	16.5	9382.787623	0.000106578	0.0079934	0.121500147	0.265381899	0.131891607
551203	222.6	30.2	22.4	9800.795216	0.000102033	0.0076525	1.703448256	0.231105738	0.171416177

section_id	40
km_point	305800
lat	15.394045
lon	100.146812
avg rain_total	37.57208602
avg temp_max	33.66073871
avg temp_min	16.76558278

รูปที่ 4-26 การคำนวณปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ยตามระยะทาง

โดยที่ปรึกษาได้ดำเนินการสร้างแบบจำลองคาดการณ์ค่าดัชนีล่วงหน้า 1 ปี ทั้ง 4 ดัชนี ซึ่งทำการแบ่งตอนควบคุมทั้งหมดออกเป็นตอนควบคุมย่อยทุก ๆ 100 โดยประกอบไปด้วยแบบจำลองทั้งหมด 4 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองคาดการณ์ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (SCI) แบบจำลองคาดการณ์ความเรียบของถนน (IRI) แบบจำลองคาดการณ์ความเสียหายของถนน (PCI) และแบบจำลองคาดการณ์ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง (IFI) เมตร โดยมีภาพรวมการสร้างแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 4-29 และแสดงรายละเอียดของแต่ละแบบจำลองดังหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4-25 ภาพรวมการสร้างแบบจำลอง

ดัชนี	จำนวนข้อมูล	จำนวนตัวแปร Features	ประเภทของแบบจำลอง
SCI	1,620	10	Random Forest
IRI	285,849	251	Artificial Neural Network
PCI	285,849	185	Artificial Neural Network
IFI	302	12	Random Forest

- **ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (Structural Coefficient Index, SCI)**

การสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน ที่ปรึกษาได้เลือกใช้แบบจำลอง Random Forest เนื่องจากข้อจำกัดของปริมาณข้อมูลที่มีอยู่ทั้งสิ้น 1,620 ตอนควบคุมย่อย โดยที่ปรึกษาได้ทำการคาดการณ์ค่าดัชนีล่วงหน้าได้ 1-3 ปี โดยมีตัวแปรขาเข้าที่เป็น Features ทั้งหมด 10 ตัวแปรแสดงดังตารางที่ 4-26 และตัวแปรที่เป็น Target 1 ตัวแปร คือ ค่า SCI ในอนาคตที่ต้องการคาดการณ์

นอกจากนี้ ที่ปรึกษาได้ใช้วิธี Grid Search ในการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 4-26

ตารางที่ 4-26 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
1	SCI	ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน	-
2	hierarchy	ลำดับชั้นถนน	
3	division_code	รหัสของสำนักงานทางหลวง	-
4	YTD	จำนวนปีที่แตกต่างกันของปีคาดการณ์กับปีของข้อมูลที่ทำการสำรวจ (ปีคาดการณ์ข้อมูล – ปีการเก็บข้อมูล)	ปี
5	mean_rain_total	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือน	มิลลิเมตร/เดือน
6	mean_temp_max	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน
7	mean_temp_min	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน
8	sd_rain_total	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณน้ำฝนต่อเดือน	มิลลิเมตร/เดือน
9	sd_temp_max	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน
10	sd_temp_min	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน

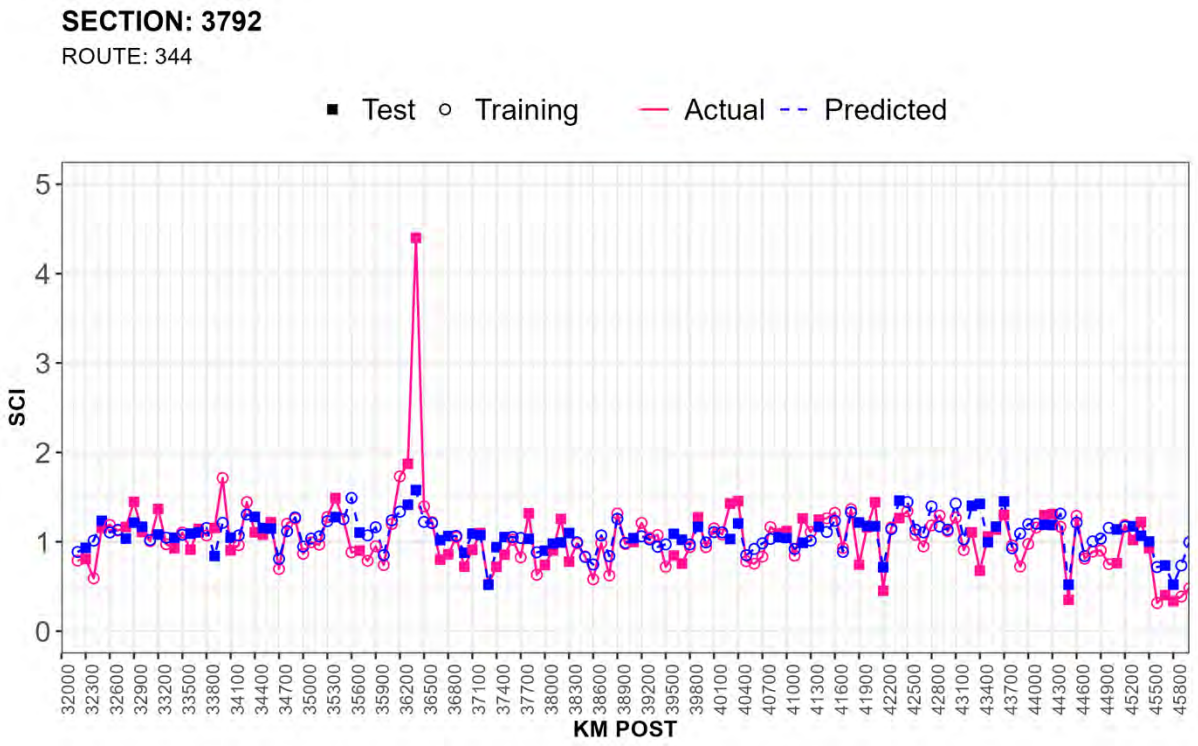
ตารางที่ 4-27 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Grid Search

ลำดับ	พารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลอง	ค่าที่ใช้ในการทำ Grid Search	ค่าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง
1	max_depth	[50, 100, 300, 500]	300
2	max_features	[2, 5, 10, 20, 50]	5
3	min_samples_leaf	[2, 5, 10]	2
4	min_samples_split	[5, 10, 30]	10
5	n_estimators	[100, 300, 500, 1000]	100

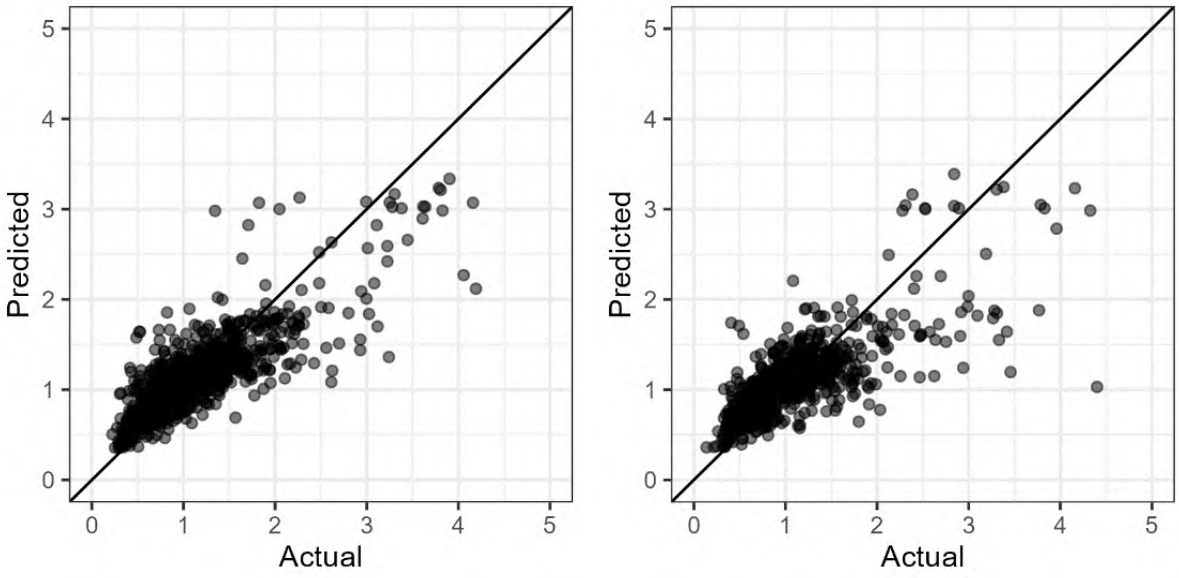
ที่ปรึกษาได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Training Dataset) จำนวน 972 แถว (60%) และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Test Dataset) จำนวน 648 แถว (40%) และได้ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองเทียบกับแบบจำลอง Multiple Linear Regression (MLR) แสดงดังตารางที่ 4-28 และแสดงกราฟค่าดัชนีที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลองเทียบกับค่าดัชนีของจริงที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4-27 และรูปที่ 4-28

ตารางที่ 4-28 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Random Forest ของดัชนี SCI

ประเภทแบบจำลอง	ชุดข้อมูล	MAPE (%)	MAE	R^2
Random Forest	Training	24.99	0.25	0.64
	Test	29.26	0.32	0.48
Multiple Linear Regression	Training	43.72	0.39	0.25
	Test	43.11	0.4	0.31



รูปที่ 4-27 ค่า SCI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest ทุก ๆ 100 เมตร



ก) ชุดข้อมูลเรียนรู้ (Training Dataset) ข) ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Dataset)

รูปที่ 4-28 ค่า SCI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest

- **ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง (International Friction Index, IFI)**

การสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง ที่ปรึกษาได้เลือกใช้แบบจำลอง Random Forest เนื่องจากข้อจำกัดของปริมาณข้อมูลที่มีอยู่ทั้งสิ้น 302 ตอนควบคุมย่อย โดยที่ปรึกษาได้ทำการคาดการณ์ค่าดัชนีล่วงหน้าได้ 1-3 ปี โดยมีตัวแปรขาเข้าที่เป็น Features ทั้งหมด 12 ตัวแปร แสดงดังตารางที่ 4-29 และตัวแปรที่เป็น Target 1 ตัวแปร คือ ค่า IFI ในอนาคตที่ต้องการคาดการณ์

นอกจากนี้ ที่ปรึกษาได้ใช้วิธี Grid Search ในการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 4-30

ตารางที่ 4-29 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง IFI

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
1	IFI	ความต้านทานการลื่นไถล	-
2	surface	ประเภทผิวทาง 0 = ผิวทางลาดยาง 1 = ผิวทางคอนกรีต	-
3	hierarchy	ลำดับชั้นถนน	
4	division_code	รหัสของสำนักงานทางหลวง	-
5	YTD	จำนวนปีที่แตกต่างกันของปีคาดการณ์กับปีของข้อมูลที่ทำการสำรวจ (ปีคาดการณ์ข้อมูล – ปีการเก็บข้อมูล)	ปี
6	veh_total	ปริมาณจราจรเฉลี่ยรายวันตลอดปี (Average Annual Daily Traffic, AADT)	คัน/วัน
7	hytot_t	สัดส่วนรถบรรทุกเฉลี่ยต่อปี	%/ปี
8	mean_rain_total	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือน	มิลลิเมตร/เดือน
9	mean_temp_max	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน
10	mean_temp_min	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน
11	sd_rain_total	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณน้ำฝนต่อเดือน	มิลลิเมตร/เดือน
12	sd_temp_max	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน
13	sd_temp_min	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน

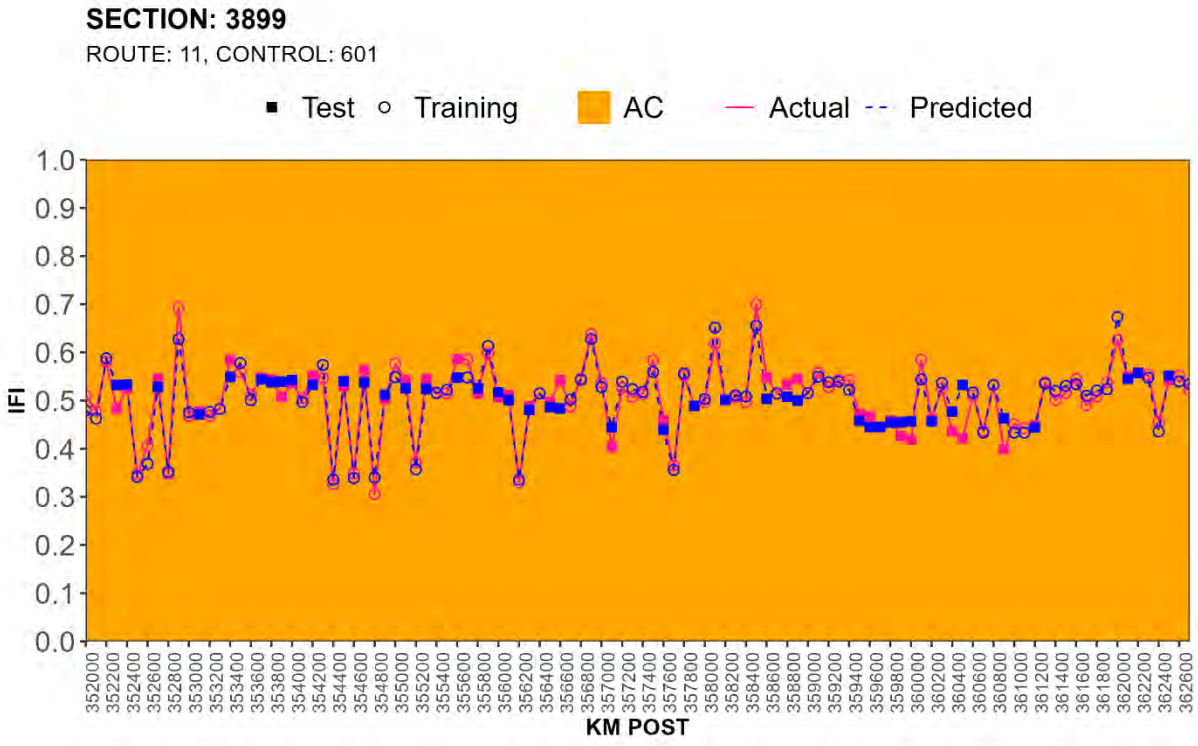
ตารางที่ 4-30 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Grid Search

ลำดับ	พารามิเตอร์ ในการสร้างแบบจำลอง	ค่าที่ใช้ ในการทำ Grid Search	ค่าที่ใช้ ในการสร้างแบบจำลอง
1	max_depth	[50, 100, 300, 500]	300
2	max_features	[2, 5, 10, 20, 50]	5
3	min_samples_leaf	[2, 5, 10]	5
4	min_samples_split	[5, 10, 30]	10
5	n_estimators	[100, 300, 500, 1000]	100

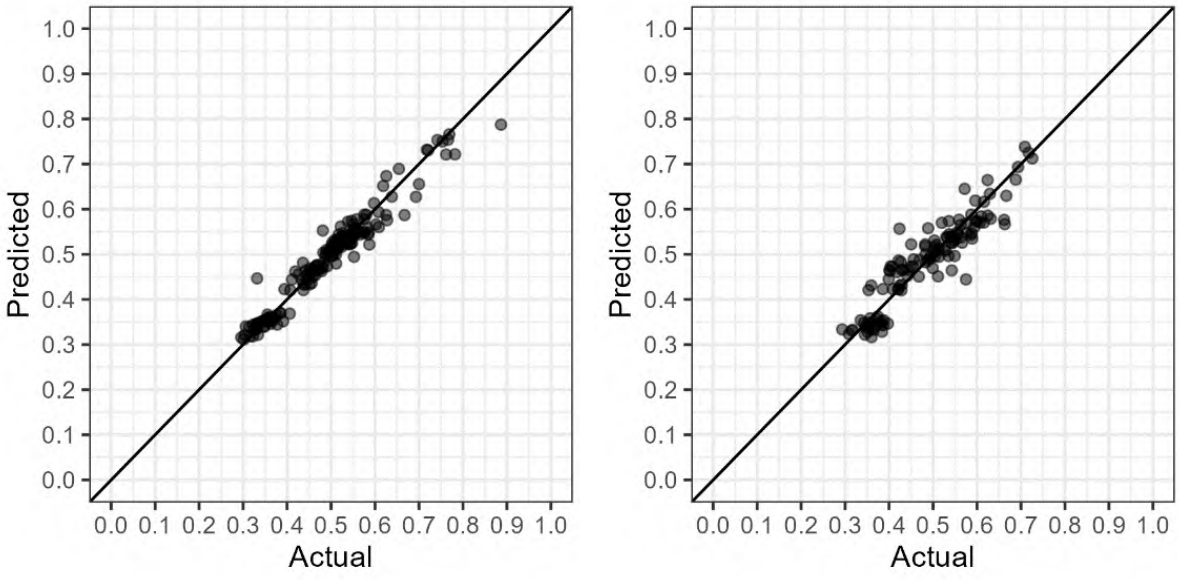
ที่ปรึกษาได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Training Dataset) จำนวน 181 แถว (60%) และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Test Dataset) จำนวน 121 แถว (40%) และได้ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Multiple Linear Regression (MLR) แสดงดังตารางที่ 4-31 ซึ่งแสดงกราฟค่าดัชนีที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลองเทียบกับค่าดัชนีของจริงที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4-29 และรูปที่ 4-30

ตารางที่ 4-31 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Random Forest ของดัชนี IFI

ประเภทแบบจำลอง	ชุดข้อมูล	MAPE (%)	MAE	R^2
Random Forest	Training	3.43	0.02	0.95
	Test	6.33	0.03	0.85
Multiple Linear Regression	Training	7.14	0.04	0.82
	Test	8.05	0.04	0.8



รูปที่ 4-29 ค่า IFI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest ในแต่ละทุก ๆ 100 เมตร



ก) ชุดข้อมูลเรียนรู้ (Training Dataset)

ข) ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Dataset)

รูปที่ 4-30 ค่า IFI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest

- **ความเรียบของถนน (International Roughness Index , IRI)**

การสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ความเรียบของถนน ที่ปรึกษาได้เลือกใช้แบบจำลอง Neural Network เนื่องจากข้อจำกัดของปริมาณข้อมูลที่มีปริมาณมาก ซึ่งค่อนข้างมากกว่าแบบจำลองคาดการณ์ความแข็งแรงของโครงสร้างถนนและความต้านทานการลื่นไถล ซึ่งมีจำนวนข้อมูลอยู่ทั้งสิ้น 285,849 ตอนควบคุมย่อย โดยที่ปรึกษาได้ทำการคาดการณ์ค่าดัชนีล่วงหน้า 1 ปี โดยมีตัวแปรขาเข้าที่เป็น Features ทั้งหมด 251 ตัวแปร แสดงดังตารางที่ 4-32 และตัวแปรที่เป็น Target 1 ตัวแปร คือ ค่า IRI ในอนาคตอีก 1 ปีที่ต้องการคาดการณ์

ซึ่งที่ปรึกษาได้ทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 4-33 และทำการ Normalize ข้อมูลขาเข้าก่อนนำเข้าแบบจำลอง ในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4-32 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
1.	[IRI_3Y] [IRI_2Y] [IRI_1Y]	ค่าความเรียบของถนน 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	เมตร/กม.
2.	[ac_icrack_3Y] [ac_icrack_2Y] [ac_icrack_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทรอยแตกต่อเนื่อง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.
3.	[ac_ucrack_3Y] [ac_ucrack_2Y] [ac_ucrack_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทรอยแตกไม่ต่อเนื่อง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	เมตร
4.	[ac_rav_3Y] [ac_rav_2Y] [ac_rav_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทการหลุดร่อน 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.
5.	[ac_patch_3Y] [ac_patch_2Y] [ac_patch_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทรอยปะซ่อม 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.
6.	[ac_phole_3Y] [ac_phole_2Y] [ac_phole_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทหลุมบ่อ 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.

ตารางที่ 4-32 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
7.	[ac_bleeding_3Y] [ac_bleeding_2Y] [ac_bleeding_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทการเยิ้ม3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.
8.	[cc_transverse_crack_3Y] [cc_transverse_crack_2Y] [cc_transverse_crack_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทจำนวนแผ่นแตกตามขวาง 3 ปี 2 และ 1 ปีย้อนหลัง	แผ่น
9.	[cc_non_transverse_crack_3Y] [cc_non_transverse_crack_2Y] [cc_non_transverse_crack_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทจำนวนแผ่นแตกตามยาว และแนวทแยง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	แผ่น
10.	[cc_spalling_3Y] [cc_spalling_2Y] [cc_spalling_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทรอยบิ่นกะเทาะ 3 ปี 2 และ 1 ปี ย้อนหลัง	จุด
11.	[cc_patch_3Y] [cc_patch_2Y] [cc_patch_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทรอยปะซ่อม 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี ย้อนหลัง	เมตร
12.	[cc_cornor_break_3Y] [cc_cornor_break_2Y] [cc_cornor_break_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทมุมแตก 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี ย้อนหลัง	ตร.ม.
13.	[cc_joint_seal_damage_3Y] [cc_joint_seal_damage_2Y] [cc_joint_seal_damage_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทวัสดุยาแนวรอยต่อเสียหาย 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	จุด
14.	[m1_temp_min_3Y] [m1_temp_min_2Y] [m1_temp_min_1Y] . . [m12_temp_min_3Y] [m12_temp_min_2Y] [m12_temp_min_1Y]	ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของแต่ละเดือน ย้อนหลัง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี	เซลเซียส/ เดือน

ตารางที่ 4-32 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
15.	[m1_temp_max_3Y] [m1_temp_max_2Y] [m1_temp_max_1Y] . . [m12_temp_max_3Y] [m12_temp_max_2Y] [m12_temp_max_1Y]	ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของแต่ละเดือน ย้อนหลัง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี	เซลเซียส/ เดือน
16	[m1_rain_total_3Y] [m1_rain_total_2Y] [m1_rain_total_1Y] . . [m12_rain_total_3Y] [m12_rain_total_2Y] [m12_rain_total_1Y]	ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของแต่ละเดือน ย้อนหลัง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี	มิลลิเมตร/ เดือน
17	[plan_code_group_3Y] [plan_code_group_2Y] [plan_code_group_1Y]	หมายเลขรหัสหมวดการซ่อมบำรุงถนน	-
18	[plan_code_number_3Y] [plan_code_number_2Y] [plan_code_number_1Y]	หมายเลขรหัสงานซ่อมบำรุงถนน	-
19	[IND_IRI_3Y] [IND_IRI_2Y] [IND_IRI_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของ IRI 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
20	[IND_ac_icrack_3Y] [IND_ac_icrack_2Y] [IND_ac_icrack_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหาย ชนิดรอยแตกต่อเนื่อง 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-

ตารางที่ 4-32 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
21	[IND_ac_ucrack_3Y] [IND_ac_ucrack_2Y] [IND_ac_ucrack_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดรอยแตกไม่ต่อเนื่อง 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
22	[IND_ac_rav_3Y] [IND_ac_rav_2Y] [IND_ac_rav_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดการหลุดร่อน 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
23	[IND_ac_patch_3Y] [IND_ac_patch_2Y] [IND_ac_patch_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหาย ชนิดรอยปะซ่อม 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
24	[IND_ac_phole_3Y] [IND_ac_phole_2Y] [IND_ac_phole_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหาย ชนิดรอยบิ่นกะเทาะ 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
25	[IND_cc_transverse_crack_3Y] [IND_cc_transverse_crack_2Y] [IND_cc_transverse_crack_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหาย ชนิดจำนวนแผ่นแตกตามขวาง 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
26	[IND_cc_non_transverse_crack_3Y] [IND_cc_non_transverse_crack_2Y] [IND_cc_non_transverse_crack_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหาย ชนิดจำนวนแผ่นแตกตามยาว 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-

ตารางที่ 4-32 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
27	[IND_cc_spalling_3Y] [IND_cc_spalling_2Y] [IND_cc_spalling_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดรอยบิ่นกะเทาะ 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
28	[IND_cc_patch_3Y] [IND_cc_patch_2Y] [IND_cc_patch_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดรอยปะซ่อม 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
29	[IND_cc_cornor_break_3Y] [IND_cc_cornor_break_2Y] [IND_cc_cornor_break_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดมุมแตก 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
30	[IND_cc_joint_seal_damage_3Y] [IND_cc_joint_seal_damage_2Y] [IND_cc_joint_seal_damage_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดวัสดุแนวรอยต่อเสียหาย 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
31	surface	ประเภทผิวทาง 0 = ผิวทางลาดยาง 1 = ผิวทางคอนกรีต	
32	hierarchy	ลำดับชั้นถนน	
33	veh_total	ปริมาณจราจรเฉลี่ยรายวันตลอดปี (Average Annual Daily Traffic, AADT)	คัน/วัน
34	hytot_t	สัดส่วนรถบรรทุกเฉลี่ยต่อปี	%/ปี
35	num_days_LRW_XY	จำนวนวันจากการซ่อมถนนล่าสุดถึงวันเก็บข้อมูล (1-3 ปีย้อนหลัง)	วัน
36	RW_INSP_XY	มีการซ่อมถนนก่อนการเก็บข้อมูล (1-3 ปีย้อนหลัง) (1=มี, 0=ไม่มี)	-

- **Data Normalization**

Data Normalization คือ วิธีการปรับขอบเขตของข้อมูลแต่ละ Feature ให้อยู่ในช่วงเดียวกัน ให้เหมาะกับการนำไปประมวลผลต่อ เช่น ช่วง [0,1] หรือ [-1,1] เพราะตัวแปรอิสระที่ได้รับมาจากข้อมูลดิบนั้นมักมีหลากหลายชนิด หลากหลายรูปแบบข้อมูลรวมทั้งหลากหลาย Scale ช่วงข้อมูล สำหรับ Machine Learning ในบางชนิดไม่สามารถรับข้อมูลหลากหลาย Scale ได้โดยตรง จึงจำเป็นที่จะต้องทำ Normalization ก่อนที่จะทำการป้อนข้อมูลให้กับแบบจำลอง เพื่อช่วยในการคำนวณได้ง่ายและประมวลผลที่รวดเร็วขึ้น โดยวิธีที่ใช้ในงานวิจัย คือ วิธี z-score แสดงดังสมการที่ 4-16 และสมการที่ 4-17

$$z_{train} = \frac{x_{train} - \mu_{train}}{\sigma_{train}} \quad (4\text{-}16)$$

$$z_{test} = \frac{x_{test} - \mu_{train}}{\sigma_{train}} \quad (4\text{-}17)$$

โดยที่

z = Standardized Value

x_{train} = ข้อมูลขาเข้าของข้อมูลสำหรับ Train แบบจำลอง

x_{test} = ข้อมูลขาเข้าของข้อมูลสำหรับ Test แบบจำลอง

μ_{train} = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระของข้อมูลสำหรับ Train แบบจำลอง

σ_{train} = ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของตัวแปรอิสระของข้อมูลสำหรับ Train แบบจำลอง

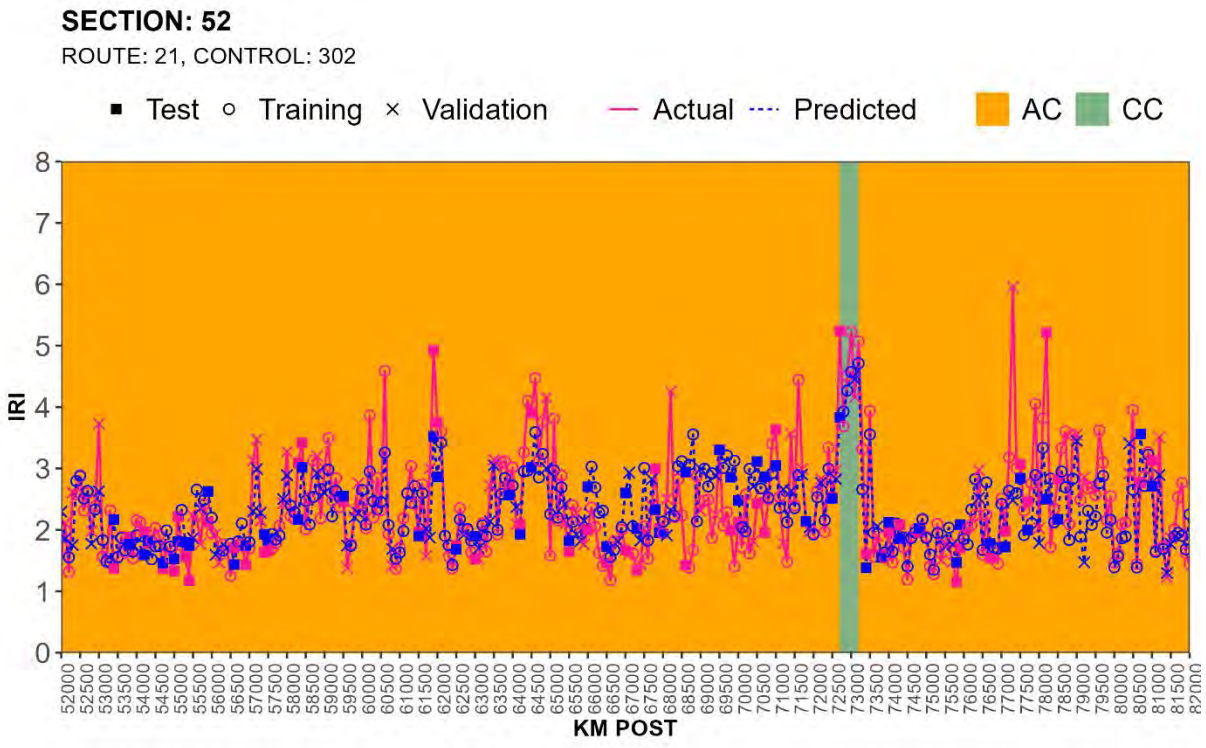
ตารางที่ 4-33 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง Neural Network

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง
Hidden Layer	4
Hidden Cell	126
Learning Rate	0.001
Epoch	50
Batch Size	32

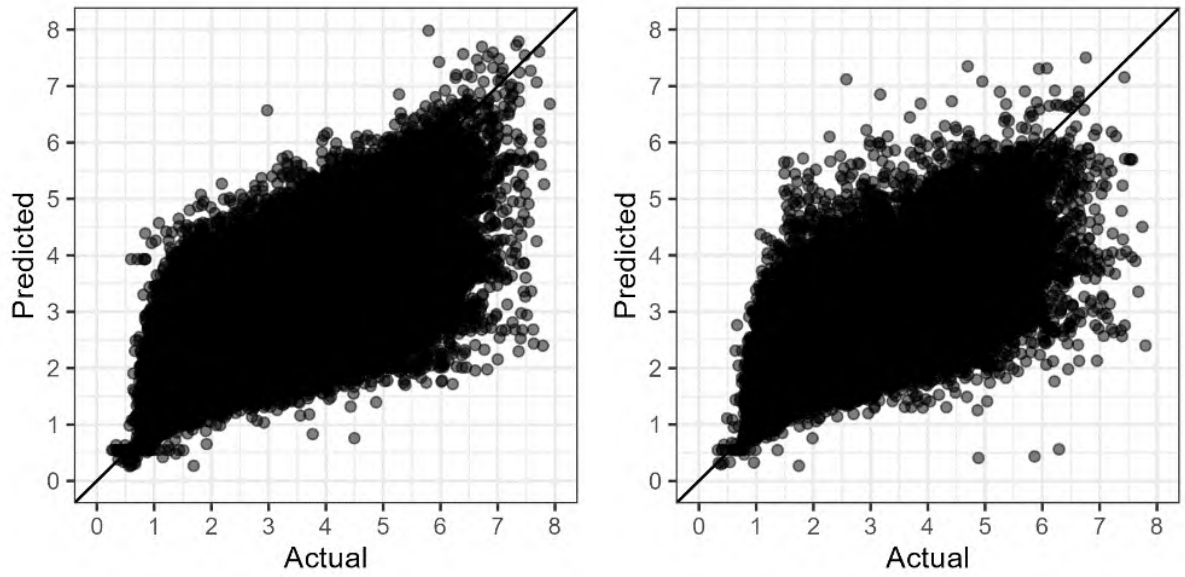
ที่ปรึกษาได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชุดข้อมูล โดยแบ่งในสัดส่วนลำดับชั้นของถนน และสำนักงานทางหลวงในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยข้อมูล 3 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Training Dataset) จำนวน 172,829 แถว (60%) ข้อมูลที่ใช้สำหรับปรับแก้แบบจำลอง (Validation Dataset) จำนวน 57,580 แถว (20%) และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Test Dataset) จำนวน 57,699 แถว (20%) และได้ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองดังตารางที่ 4-34 ซึ่งแสดงกราฟค่าดัชนีที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลองเทียบกับค่าดัชนีของจริงที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4-31 และรูปที่ 4-32

ตารางที่ 4-34 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Neural Network ของดัชนี IRI

ประเภทแบบจำลอง	ชุดข้อมูล	MAPE (%)	MAE	R^2
Neural Network	Training	20.83	0.5	0.58
	Validation	21.98	0.53	0.52
	Test	21.79	0.53	0.53
Multiple Linear Regression	Training	26.09	0.62	0.40
	Validation	26.10	0.63	0.40
	Test	25.90	0.61	0.41

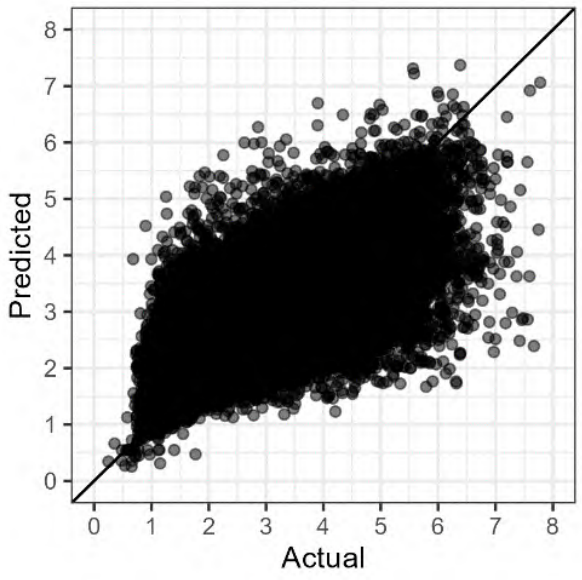


รูปที่ 4-31 ค่า IRI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ทุก ๆ 100 เมตร



ก) ชุดข้อมูลเรียนรู้ (Training Dataset)

ข) ชุดข้อมูลตรวจสอบ (Validation Dataset)



ค) ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Dataset)

รูปที่ 4-32 ค่า IRI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network

- **ความเสียหายของผิวทาง (Pavement Condition Index, PCI)**

การสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ความเสียหายของถนน ที่ปรึกษาได้เลือกใช้แบบจำลอง Neural Network เนื่องจากข้อจำกัดของปริมาณข้อมูลที่มีปริมาณมาก ซึ่งค่อนข้างมากกว่าแบบจำลองคาดการณ์ความแข็งแรงของโครงสร้างถนนและความต้านทานการลื่นไถล ซึ่งมีจำนวนข้อมูลอยู่ทั้งสิ้น 285,849 ตอนควบคุมย่อย โดยที่ปรึกษาได้ทำการคาดการณ์ค่าดัชนีล่วงหน้า 1 ปี โดยมีตัวแปรขาเข้าที่เป็น Features ทั้งหมด 185 ตัวแปร แสดงดังตารางที่ 4-35 และตัวแปรที่เป็น Target 1 ตัวแปร คือ ค่า PCI ในอนาคตอีก 1 ปีที่ต้องการคาดการณ์

ซึ่งที่ปรึกษาได้ทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 4-36 และทำการ Normalize ข้อมูลขาเข้าก่อนนำเข้าแบบจำลอง ในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4-35 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทาง

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
1.	[IRI_3Y] [IRI_2Y] [IRI_1Y]	ค่าความเรียบของถนน 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	เมตร/กม.
2.	[PCI_3Y] [PCI_2Y] [PCI_1Y]	ค่าความเสียหายของถนน 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	-
3.	[m1_temp_min_3Y] [m1_temp_min_2Y] [m1_temp_min_1Y] . . [m12_temp_min_3Y] [m12_temp_min_2Y] [m12_temp_min_1Y]	ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของแต่ละเดือนย้อนหลัง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี	เซลเซียส/เดือน

ตารางที่ 4-35 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทาง (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
4.	[m1_temp_max_3Y] [m1_temp_max_2Y] [m1_temp_max_1Y] . . [m12_temp_max_3Y] [m12_temp_max_2Y] [m12_temp_max_1Y]	ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของแต่ละเดือน ย้อนหลัง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี	เซลเซียส/เดือน
5.	[m1_rain_total_3Y] [m1_rain_total_2Y] [m1_rain_total_1Y] . . [m12_rain_total_3Y] [m12_rain_total_2Y] [m12_rain_total_1Y]	ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของแต่ละเดือน ย้อนหลัง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี	มิลลิเมตร/เดือน
6.	[plan_code_number_3Y] [plan_code_number_2Y] [plan_code_number_1Y]	หมายเลขรหัสงานซ่อมบำรุงถนน	-
7.	[IND_IRI_3Y] [IND_IRI_2Y] [IND_IRI_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของ IRI 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
8.	[IND_PCI_3Y] [IND_PCI_2Y] [IND_PCI_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของ PCI 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
9.	surface	ประเภทผิวทาง 0 = ผิวทางลาดยาง 1 = ผิวทางคอนกรีต	
10.	hierarchy	ลำดับชั้นถนน	

ตารางที่ 4-35 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทาง (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
11.	veh_total	ปริมาณจราจรเฉลี่ยรายวันตลอดปี (Average Annual Daily Traffic, AADT)	คัน/วัน
12.	hytot_t	สัดส่วนรถบรรทุกเฉลี่ยต่อปี	%/ปี
13.	num_days_LRW_XY	จำนวนวันจากการซ่อมถนนล่าสุดถึงวันเก็บข้อมูล (1-3 ปีย้อนหลัง)	**วัน**
14.	RW_INSP_XY	มีการซ่อมถนนก่อนการเก็บข้อมูล (1-3 ปีย้อนหลัง) (1=มี, 0=ไม่มี)	-

ตารางที่ 4-36 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง Neural Network

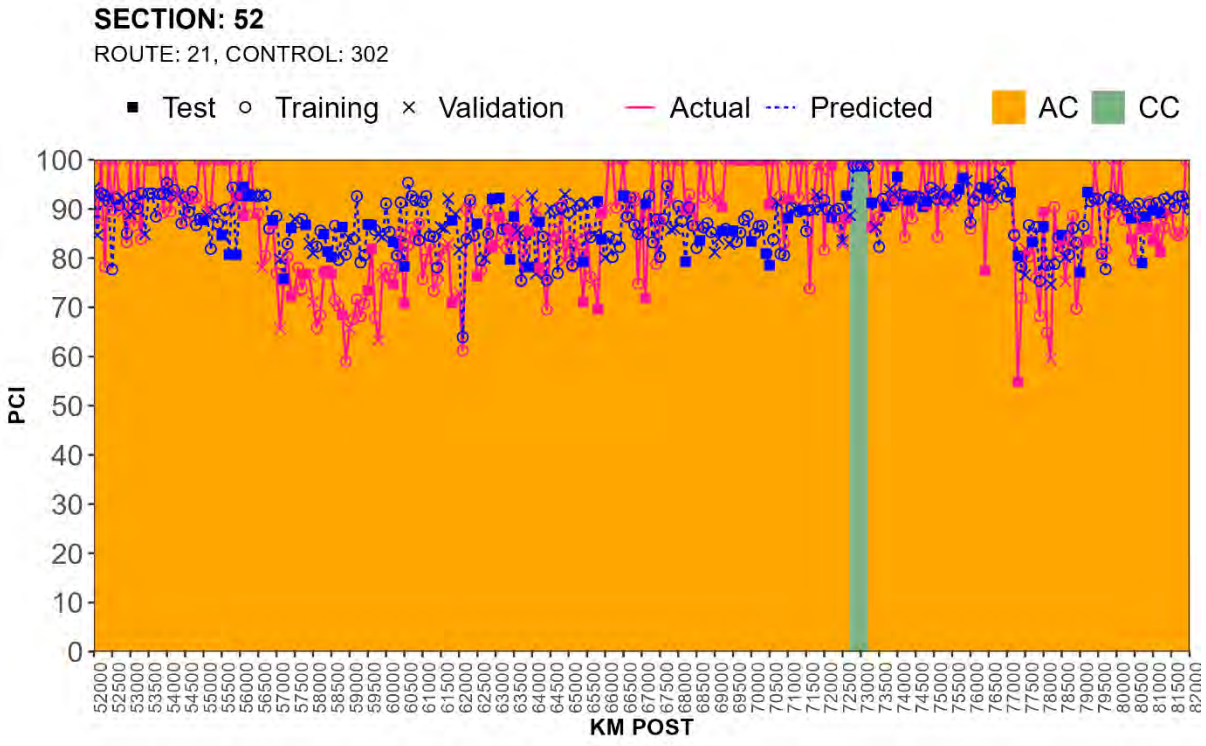
พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทาง
Hidden Layer	4
Hidden Cell	93
Learning Rate	0.001
Epoch	50
Batch Size	32

ที่ปรึกษาได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชุดข้อมูล โดยแบ่งในสัดส่วนลำดับชั้นของถนน และสำนักงานทางหลวงในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยข้อมูล 3 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Training Dataset) จำนวนร้อยละ 60% ของข้อมูลทั้งหมด ข้อมูลที่ใช้สำหรับปรับแก้แบบจำลอง (Validation Dataset) จำนวนร้อยละ 20% ของข้อมูลทั้งหมด และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Test Dataset) จำนวนร้อยละ 20% ของข้อมูลทั้งหมด และได้ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองตารางที่ 4-37

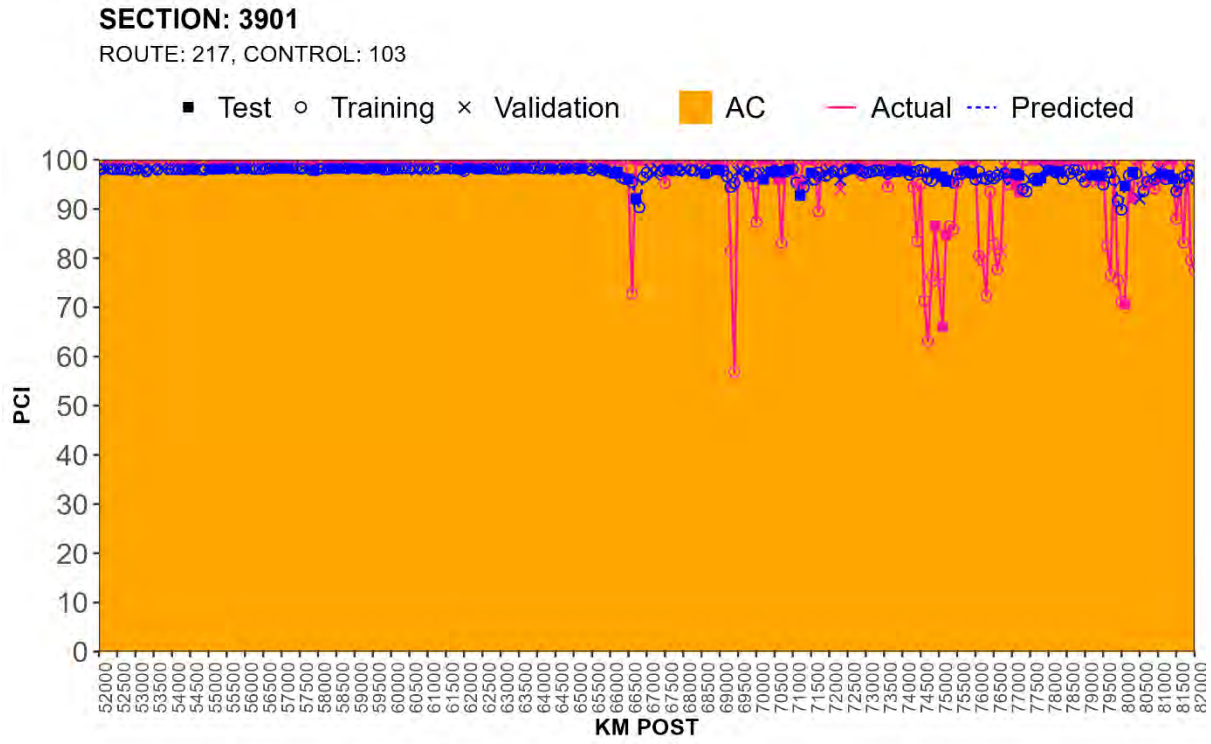
เนื่องจากการเก็บข้อมูลสำรวจในการคำนวณ PCI ในปี 2022 มีการเก็บข้อมูลด้วยกัน 2 วิธีได้แก่ วิธีการสำรวจด้วยชุดเลเซอร์ LCMS และการสำรวจด้วยการถ่ายภาพ (TPL) ที่ปรึกษาจึงได้แสดงกราฟค่าดัชนีที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลองเทียบกับค่าดัชนีของจริงที่ได้จากการเก็บข้อมูลของทั้งสองวิธีแสดงดังรูปที่ 4-32 และรูปที่ 4-33 และแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 4-38 นอกจากนี้ ที่ปรึกษาได้แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลคาดการณ์กับข้อมูลจริงทั้งสามชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลเรียนรู้ ชุดข้อมูลตรวจสอบ และจุดข้อมูลทดสอบแสดงดังรูปที่ 4-34

ตารางที่ 4-37 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Neural Network ของดัชนี PCI

ประเภทแบบจำลอง	ชุดข้อมูล	MAPE (%)	MAE	R^2
Neural Network	Training	6.87	5.52	0.38
	Validation	6.97	5.6	0.36
	Test	7.02	5.61	0.36
Multiple Linear Regression	Training	8.11	6.60	0.26
	Validation	8.10	6.58	0.26
	Test	8.17	6.62	0.25



รูปที่ 4-33 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ทุก ๆ 100 เมตรตำแหน่งที่เก็บข้อมูลด้วย LCMS

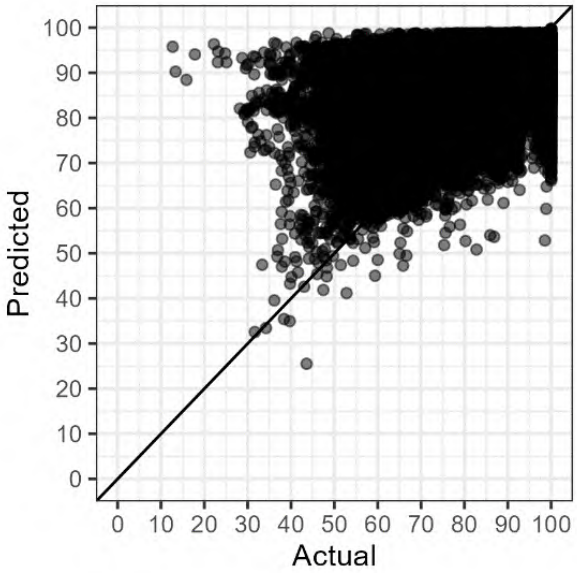


รูปที่ 4-34 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ทุก ๆ 100 เมตรตำแหน่งที่เก็บข้อมูลด้วย TPL

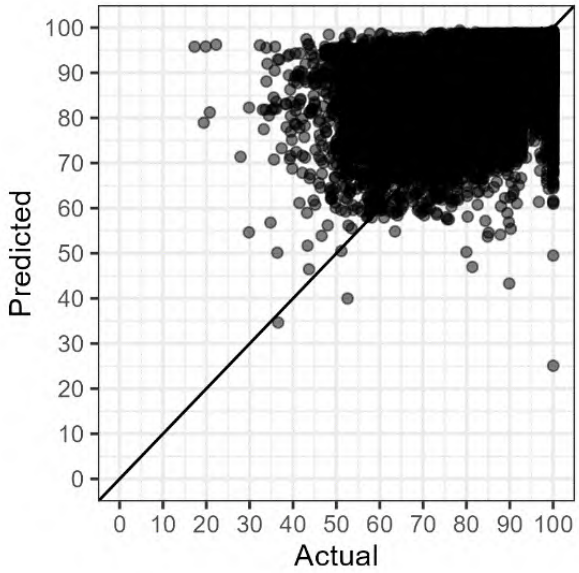
ตารางที่ 4-38 ผลลัพธ์ MAPE และ MAE ที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละวิธีการเก็บข้อมูล

วิธีการเก็บข้อมูล	MAPE (%)	MAE
LCMS	10.06	8.09
TPL	3.82	3.42

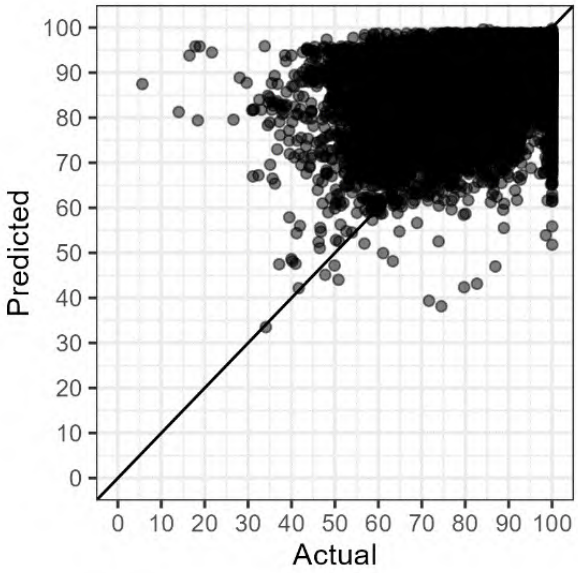
จากตารางที่ 4-38 จะเห็นได้ว่าวิธีการเก็บข้อมูลด้วยวิธี LCMS จะมีค่าความถูกต้องน้อยกว่าวิธี TPL เนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองมีเพียงข้อมูลที่เก็บจากวิธี TPL และจากรูปที่ 4-32 และรูปที่ 4-33 จะเห็นได้ว่าการเก็บข้อมูลจากวิธี LCMS ข้อมูลจะมีความผันผวนมากกว่าเนื่องจากข้อมูลมีความละเอียดมากกว่าวิธี TPL ที่มีความผันผวนของข้อมูลน้อยกว่า



ก) ชุดข้อมูลเรียนรู้
(Training Dataset)



ข) ชุดข้อมูลตรวจสอบ
(Validation Dataset)

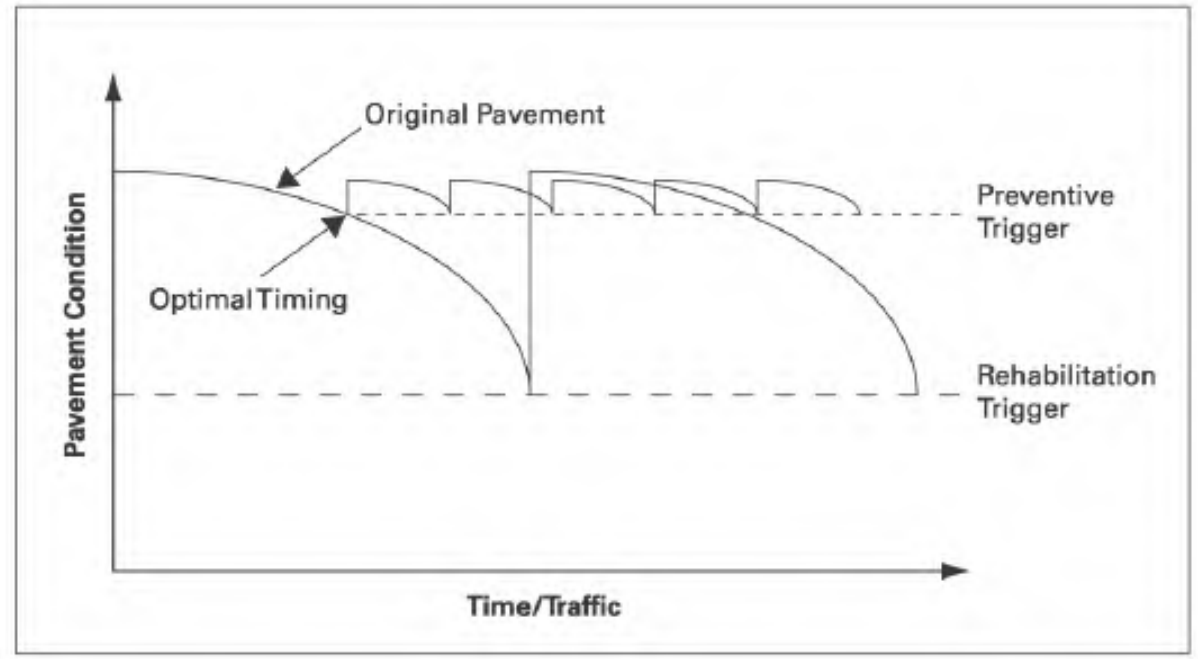


ค) ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Dataset)

รูปที่ 4-35 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network

2) การวิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Road Work Effect)

Road Work Effect คือ การซ่อมถนน แล้วทำให้ถนนกลับมามีสภาพใหม่และส่งผลต่อการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของถนน แสดงดังรูปที่ 4-36



ที่มา : (Kerali, 2000)

รูปที่ 4-36 ความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพของถนนกับการซ่อมบำรุง

ในส่วนของค่าดัชนีความแข็งแรงของโครงสร้างถนน และความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางนั้น ข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง ไม่มีช่วงตอนควบคุมที่มีการซ่อมบำรุงสายทาง ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ผลการซ่อมบำรุงสายทางของดัชนีความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง และดัชนีความแข็งแรงของโครงสร้างถนนได้ โดยแสดงจำนวนข้อมูลตอนควบคุมที่มีการซ่อมบำรุงสายทางแสดงดังตารางที่ 4-39 และแสดงประเภทการซ่อมบำรุงสายทางที่มีในฐานข้อมูลที่ส่งผลต่อดัชนีทั้ง 4 ด้านแสดงดังตารางที่ 4-40

ตารางที่ 4-39 จำนวนข้อมูลตอนควบคุมที่มีการซ่อมบำรุงสายทาง

ดัชนี	จำนวนตอนควบคุมที่มีการซ่อมบำรุงสายทาง
SCI	ไม่มีข้อมูล
IFI	ไม่มีข้อมูล
IRI	15,116
PCI	15,116

ตารางที่ 4-40 รหัสงานซ่อมบำรุงที่ส่งผลต่อดัชนีทั้ง 4 ด้านที่มีในฐานข้อมูล

ลำดับ	รหัสงานซ่อม	คำอธิบายรหัสงาน
1	22100	งานฉาบผิวทางแอสฟัลต์
2	22200	งานเสริมผิวทางแอสฟัลต์
3	22400	งานเปลี่ยนวัสดุผิวรอยต่อผิวทางคอนกรีต
4	23100	งานปรับระดับผิวทาง
5	23200	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์
6	23300	งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม นำกลับมาใช้ใหม่
7	23400	งานซ่อมทางผิวคอนกรีต
8	24100	งานบูรณะผิวทางแอสฟัลต์
9	24200	งานบูรณะผิวทางคอนกรีต

ที่ปรึกษาได้วิเคราะห์ผลกระทบของการซ่อมบำรุงโดยแบ่งเป็น 2 ดัชนี ได้แก่ ความเรียบของถนน (IRI) และความเสียหายของผิวทาง (PCI) โดยมีรายละเอียดในการวิเคราะห์แต่ละดัชนีดังนี้

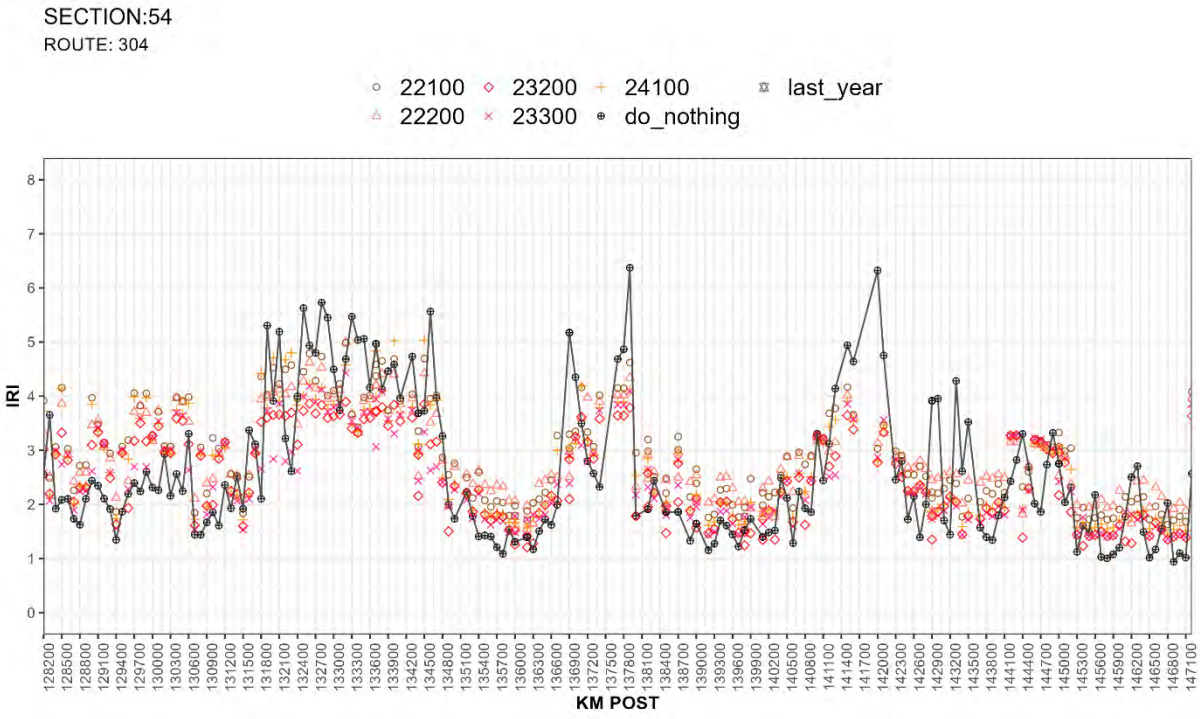
- **ความเรียบของถนน (International Roughness Index , IRI)**

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ผลกระทบของการซ่อมบำรุงของความเรียบของถนน โดยเลือกรหัสงานบำรุงสายทางที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จากข้อมูลที่มีมากที่สุด 6 อันดับแรกของข้อมูลความเรียบของถนน ซึ่งรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4-41

ตารางที่ 4-41 รายละเอียดงานซ่อมบำรุงทางที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง

ลำดับ	รหัสงาน	คำอธิบายรหัสงาน	จำนวนข้อมูล	สัดส่วนข้อมูล
1	22200	งานเสริมผิวทางแอสฟัลต์	5,133	33.96%
2	22100	งานฉาบผิวทางแอสฟัลต์	2,848	18.84%
3	24100	งานบูรณะผิวทางแอสฟัลต์	1,884	12.46%
4	23300	งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม นำกลับมาใช้ใหม่	1,570	10.39%
5	24200	งานบูรณะผิวทางคอนกรีต	1,123	7.43%
6	23200	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์	994	6.58%

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการปรับวิธีการซ่อมข้อมูลทั้ง 5 วิธีในแบบจำลองการคาดการณ์ความเรียบของถนน ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4-37



รูปที่ 4-37 ผลการเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีของดัชนีความเรียบของถนน

จากรูปที่ 4-37 จะเห็นได้ว่า ส่วนใหญ่งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์ (รหัส 23200) จะทำให้ค่า IRI น้อยกว่าวิธีอื่น ตามมาด้วยวิธีงานเสริมผิวทางแอลฟัลต์ (รหัส 22200) งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม นำกลับมาใช้ใหม่ (รหัส 23300) งานบูรณะผิวทางแอสฟัลต์ (รหัส 24100) และ งานฉาบผิวทางแอสฟัลต์ (รหัส 22100)

- **ความเสียหายของผิวทาง (Pavement Condition Index, PCI)**

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ผลกระทบของการซ่อมบำรุงของความเสียหายของผิวทาง โดยเลือกรหัสงานบำรุงสายทางที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ จากข้อมูลที่มีมากที่สุด 5 อันดับแรกของข้อมูลความเสียหายของถนนแบ่งตามประเภทผิวทาง ได้แก่ ผิวทางลาดยางแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4-42 และผิวทางคอนกรีตแสดงดังตารางที่ 4-43

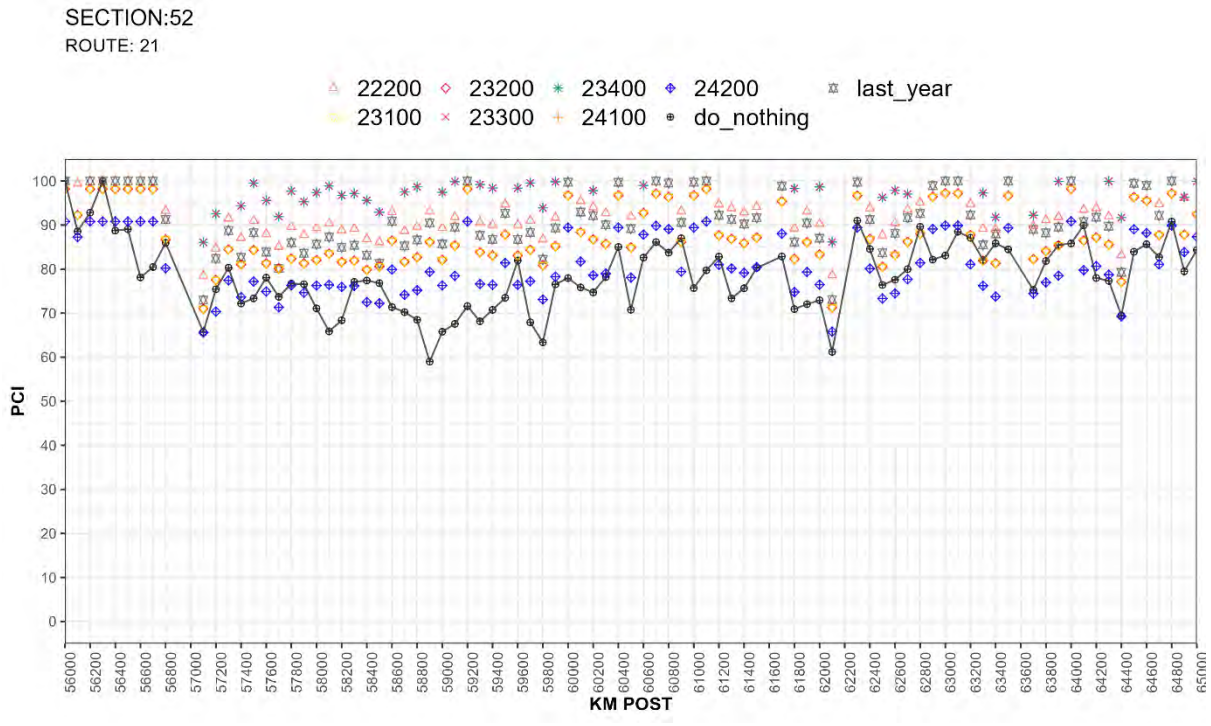
ตารางที่ 4-42 รายละเอียดงานซ่อมบำรุงทางที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุงของผิวทางลาดยาง

ลำดับ	รหัสงาน	คำอธิบายรหัสงาน	จำนวนข้อมูล	สัดส่วนข้อมูล
1	22200	งานเสริมผิวทางแอสฟัลต์	5,133	53.57%
2	24100	งานบูรณะผิวทางแอสฟัลต์	1,884	19.66%
3	23300	งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมนำกลับมาใช้ใหม่	1,570	16.39%
4	23200	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์	994	10.37%

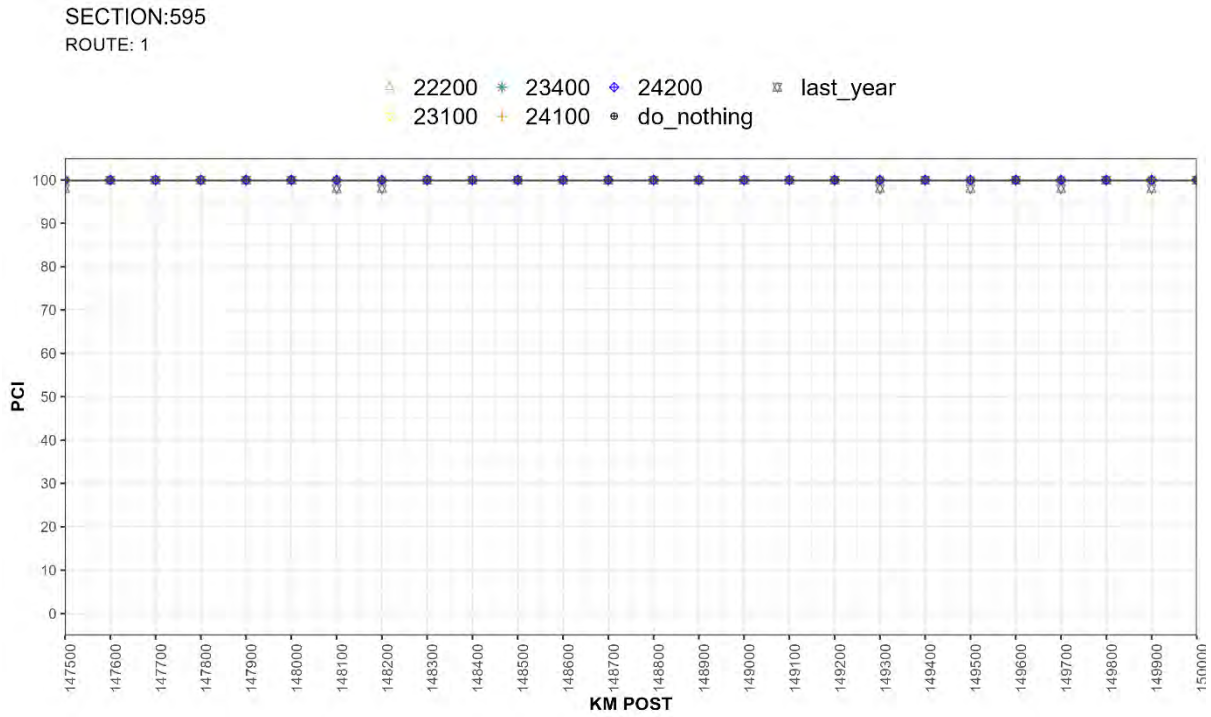
ตารางที่ 4-43 รายละเอียดงานซ่อมบำรุงทางที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุงของผิวทางคอนกรีต

ลำดับ	รหัสงาน	คำอธิบายรหัสงาน	จำนวนข้อมูล	สัดส่วนข้อมูล
1	24200	งานบูรณะผิวทางคอนกรีต	1,123	43.63%
2	23400	งานซ่อมทางผิวคอนกรีต	764	29.68%
3	22400	งานเปลี่ยนวัสดุผิวรอยต่อผิวทางคอนกรีต	687	26.69%

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการปรับวิธีการซ่อมข้อมูลทั้ง 5 วิธีในแบบจำลองการคาดการณ์ความเสียหายของถนนของผิวทางลาดยางได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4-38 และความเสียหายของถนนของผิวทางคอนกรีตได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4-39



รูปที่ 4-38 ผลการเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีของดัชนีความเสียหายของถนนของผิวทางลาดยาง



รูปที่ 4-39 ผลการเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีของดัชนีความเสียหายของถนนของผิวทางคอนกรีต

จากรูปที่ 4-38 ความเสียหายของผิวทางชนิดผิวทางลาดยางจะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์ (รหัส 23200) จะทำให้ค่า PCI เพิ่มขึ้นมากกว่าวิธีอื่นตามมาด้วยวิธีงานเสริมผิวทางแอลฟัลต์ (รหัส 22000) งานบูรณะผิวทางแอสฟัลต์ (รหัส 24100) งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม นำกลับมาใช้ใหม่ (รหัส 23300) และงานฉาบผิวทางแอสฟัลต์ (รหัส 22100)

จากรูปที่ 4-39 ความเสียหายของผิวทางชนิดผิวทางคอนกรีตจะเห็นได้ว่าแต่ละวิธีการซ่อมบำรุงถนนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ความถนนในค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่า PCI ของผิวทางคอนกรีตเดิมมีค่าที่ค่อนข้างสูง

3) การกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุง (Maintenance Criteria)

การกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุง (Maintenance Criteria) โดยอาศัยหลักการทางวิศวกรรม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาตัวช่วยในการตัดสินใจ (Decision Making) ในระดับปฏิบัติการ (Operation Level) โดยที่ปรึกษาจะทำการพิจารณาความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการกำหนดเงื่อนไขในการซ่อมบำรุงโดยพิจารณาจากดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง (Performance Maintenance Index) ที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อที่ 4.1.1 โดยทำการคัดเลือกวิธีที่คาดว่าทำให้ค่า PMI สูงที่สุด

วิธีที่ใช้การซ่อมบำรุงที่ส่งผลต่อสภาพถนนที่มีในฐานข้อมูลทั้งหมด 9 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4-44 และแสดงตัวอย่างผลลัพธ์การกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุงของผิวทางลาดยางแสดงดังตารางที่ 4-45 ผิวทางคอนกรีตแสดงดังตารางที่ 4-46

ตารางที่ 4-44 รายละเอียดงานซ่อมบำรุงทางที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง

ลำดับ	รหัสงานซ่อม	คำอธิบายรหัสงาน
1	22200	งานเสริมผิวทางแอสฟัลต์
2	22400	งานเปลี่ยนวัสดุผิวรอยต่อผิวทางคอนกรีต
3	23100	งานปรับระดับผิวทาง
4	23200	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์
5	23300	งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม นำกลับมาใช้ใหม่
6	23400	งานซ่อมทางผิวคอนกรีต
7	24100	งานบูรณะผิวทางแอสฟัลต์
8	24200	งานบูรณะผิวทางคอนกรีต

ตารางที่ 4-45 ตัวอย่างผลลัพธ์การกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุงของผิวทางลาดยาง

สายทาง	ตอนควบคุม	ประเภทผิวทาง	รหัสงานซ่อมบำรุง	PMI	วิธีซ่อมบำรุงที่เลือก
12	2925	ผิวทางลาดยาง	22100	0.237	
12	2925	ผิวทางลาดยาง	22200	0.241	เลือกวิธี 22200 ในการซ่อม
12	2925	ผิวทางลาดยาง	23300	0.239	
12	2925	ผิวทางลาดยาง	24100	0.236	
12	2925	ผิวทางลาดยาง	23200	0.240	

ตารางที่ 4-46 ตัวอย่างผลลัพธ์การกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุงของผิวทางคอนกรีต

สายทาง	ตอนควบคุม	ประเภทผิวทาง	รหัสงานซ่อมบำรุง	PMI	วิธีซ่อมบำรุงที่เลือก
2	4707	ผิวทางคอนกรีต	22400	0.121	เลือกวิธี 22400 ในการซ่อม
2	4707	ผิวทางคอนกรีต	23400	0.121	เลือกวิธี 23400 ในการซ่อม
2	4707	ผิวทางคอนกรีต	24200	0.122	

- **แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลที่เก็บได้อุปกรณ์สำรวจเป็นข้อมูลขาเข้า**

1) การวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ (Deterioration)

โดยที่ปรึกษาได้ดำเนินการสร้างแบบจำลองคาดการณ์ค่าดัชนีล่วงหน้า 1 ปีทั้ง 4 ดัชนี ซึ่งทำการแบ่งตอนควบคุมทั้งหมดออกเป็นตอนควบคุมย่อยทุก ๆ 100 โดยประกอบไปด้วยแบบจำลองทั้งหมด 4 แบบจำลอง ได้แก่แบบจำลองคาดการณ์ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (SCI) แบบจำลองคาดการณ์ความเรียบของถนน (IRI) แบบจำลองคาดการณ์ความเสียหายของถนน (PCI) และแบบจำลองคาดการณ์ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง (IFI) โดยมีภาพรวมการสร้างแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 4-47 และแสดงรายละเอียดของแต่ละแบบจำลองดังหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4-47 ภาพรวมการสร้างแบบจำลอง

ดัชนี	จำนวนข้อมูล	จำนวนตัวแปร Features	ประเภทของแบบจำลอง
SCI	1,620	24	Random Forest
IRI	285,849	251	Artificial Neural Network
PCI (AC)	255,454	215	Artificial Neural Network
PCI (CC)	30,395	215	Artificial Neural Network
IFI	302	13	Random Forest

- **ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (Structural Coefficient Index, SCI)**

การสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน ที่ปรึกษาได้เลือกใช้แบบจำลอง Random Forest เนื่องจากข้อจำกัดของปริมาณข้อมูลที่มีอยู่ทั้งสิ้น 1,620 ตอนควบคุมย่อย โดยที่ปรึกษาได้ทำการคาดการณ์ค่าดัชนีล่วงหน้าได้ 1-3 ปี โดยมีตัวแปรขาเข้าที่เป็น Features ทั้งหมด 10 ตัวแปร แสดงดังตารางที่ 4-48 และตัวแปรที่เป็น Target 1 ตัวแปร คือ ค่า SCI ในอนาคตที่ต้องการคาดการณ์

นอกจากนี้ ที่ปรึกษาได้ใช้วิธี Grid Search ในการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 4-49

ตารางที่ 4-48 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
1	deflection_0	ค่าการแอ่นตัว ณ ตำแหน่งแรงกระทำหรือระยะ Offset เท่ากับ 0 มิลลิเมตร (d_0)	mm
2	deflection_1	ค่าการแอ่นตัว ณ ระยะ Offset ที่ 1	mm
3	deflection_2	ค่าการแอ่นตัว ณ ระยะ Offset ที่ 2	mm
4	deflection_3	ค่าการแอ่นตัว ณ ระยะ Offset ที่ 3	mm
5	deflection_4	ค่าการแอ่นตัว ณ ระยะ Offset ที่ 4	mm
6	deflection_5	ค่าการแอ่นตัว ณ ระยะ Offset ที่ 5	mm
7	deflection_6	ค่าการแอ่นตัว ณ ระยะ Offset ที่ 6	mm
8	deflection_7	ค่าการแอ่นตัว ณ ระยะ Offset ที่ 7	mm
9	deflection_8	ค่าการแอ่นตัว ณ ระยะ Offset ที่ 8	mm
10	E1	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุโครงสร้างชั้นทาง ณ ระยะ Offset ที่ 1	Mpa
11	E2	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุโครงสร้างชั้นทาง ณ ระยะ Offset ที่ 2	Mpa
12	E3	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุโครงสร้างชั้นทาง ณ ระยะ Offset ที่ 3	Mpa
13	E4	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุโครงสร้างชั้นทาง ณ ระยะ Offset ที่ 4	Mpa
14	hierarchy	ลำดับชั้นถนน	
15	division_code	รหัสของสำนักงานทางหลวง	-
16	YTD	จำนวนปีที่แตกต่างกันของปีคาดการณ์กับปีของข้อมูลที่ทำการสำรวจ (ปีคาดการณ์ข้อมูล – ปีการเก็บข้อมูล)	ปี
17	mean_rain_total	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือน	มิลลิเมตร/เดือน
18	mean_temp_max	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน
19	mean_temp_min	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน
20	sd_rain_total	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณน้ำฝนต่อเดือน	มิลลิเมตร/เดือน
21	sd_temp_max	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน
22	sd_temp_min	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน
23	veh_total	ปริมาณจราจรเฉลี่ยรายวันตลอดปี (Average Annual Daily Traffic, AADT)	คัน/วัน
24	hytot_t	สัดส่วนรถบรรทุกเฉลี่ยต่อปี	%/ปี

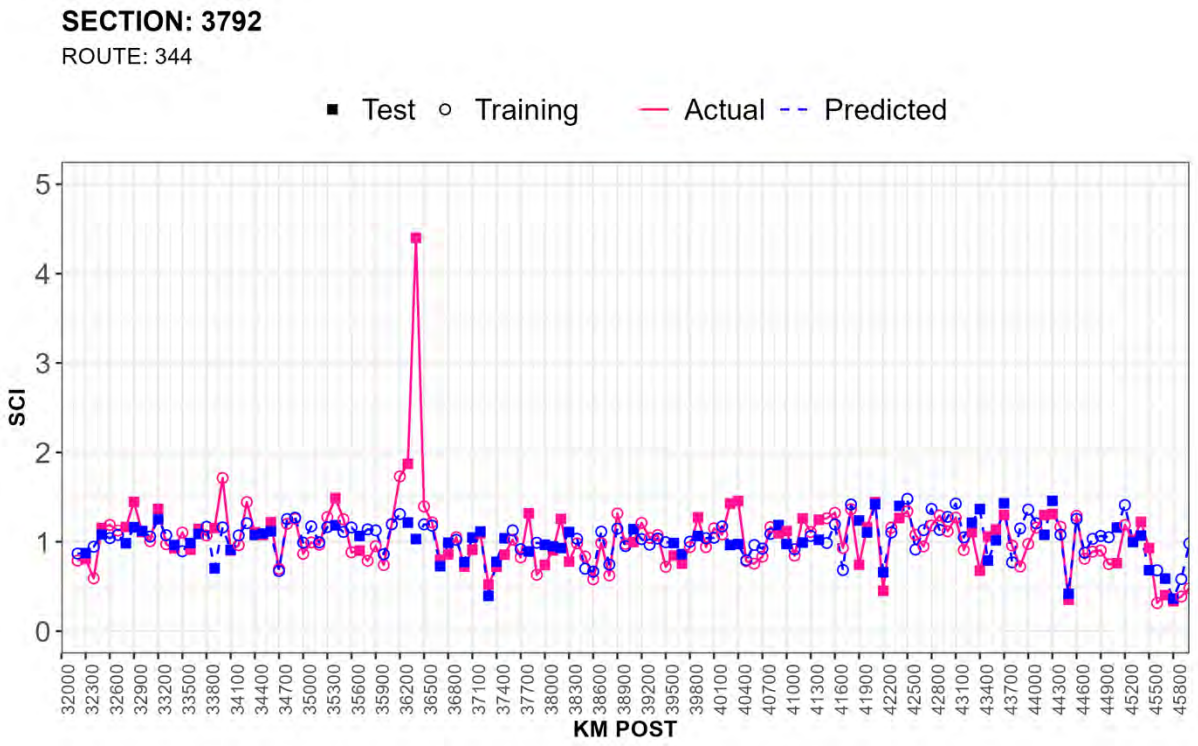
ตารางที่ 4-49 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Grid Search

ลำดับ	พารามิเตอร์ ในการสร้างแบบจำลอง	ค่าที่ใช้ ในการทำ Grid Search	ค่าที่ใช้ ในการสร้างแบบจำลอง
1	max_depth	[50, 100, 300, 500]	300
2	max_features	[2, 5, 10, 20, 50]	5
3	min_samples_leaf	[2, 5, 10]	2
4	min_samples_split	[5, 10, 30]	10
5	n_estimators	[100, 300, 500, 1000]	100

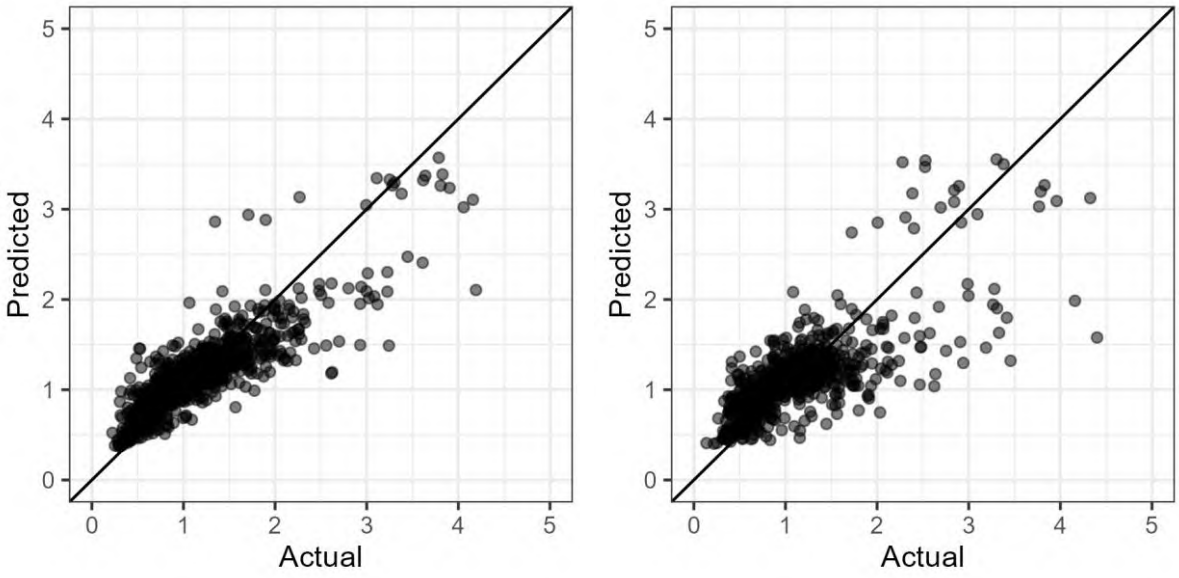
ที่ปรึกษาได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Training Dataset) จำนวน 972 แถว (60%) และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Test Dataset) จำนวน 648 แถว (40%) และได้ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองเทียบกับแบบจำลอง Multiple Linear Regression (MLR) แสดงดังตารางที่ 4-50 และแสดงกราฟค่าดัชนีที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลองเทียบกับค่าดัชนีของจริงที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4-40 และรูปที่ 4-41

ตารางที่ 4-50 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Random Forest ของดัชนี SCI

ประเภทแบบจำลอง	ชุดข้อมูล	MAPE (%)	MAE	R^2
Random Forest	Training	21.74	0.22	0.71
	Test	30.53	0.33	0.48
Multiple Linear Regression	Training	37.23	0.35	0.40
	Test	38.82	0.37	0.35



รูปที่ 4-40 ค่า SCI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest ทุก ๆ 100 เมตร



ก) ชุดข้อมูลเรียนรู้ (Training Dataset)

ข) ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Dataset)

รูปที่ 4-41 ค่า SCI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest

- **ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง (International Friction Index, IFI)**

การสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง ที่ปรึกษาได้เลือกใช้แบบจำลอง Random Forest เนื่องจากข้อจำกัดของปริมาณข้อมูลที่มีอยู่ทั้งสิ้น 302 ตอนควบคุมย่อย โดยที่ปรึกษาได้ทำการคาดการณ์ค่าดัชนีล่วงหน้าได้ 1-3 ปี โดยมีตัวแปรขาเข้าที่เป็น Features ทั้งหมด 12 ตัวแปร แสดงดังตารางที่ 4-29 และตัวแปรที่เป็น Target 1 ตัวแปร คือ ค่า IFI ในอนาคตที่ต้องการคาดการณ์

นอกจากนี้ ที่ปรึกษาได้ใช้วิธี Grid Search ในการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 4-51

ตารางที่ 4-51 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง IFI

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
1	mpd	ค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง	mm
2	friction		
3	surface	ประเภทผิวทาง0 = ผิวทางลาดยาง 1 = ผิวทางคอนกรีต	-
4	hierarchy	ลำดับชั้นถนน	
5	division_code	รหัสของสำนักงานทางหลวง	-
6	YTD	จำนวนปีที่แตกต่างกันของปีคาดการณ์กับปีของข้อมูลที่ทำการสำรวจ (ปีคาดการณ์ข้อมูล – ปีการเก็บข้อมูล)	ปี
7	veh_total	ปริมาณจราจรเฉลี่ยรายวันตลอดปี (Average Annual Daily Traffic, AADT)	คัน/วัน
8	hytot_t	สัดส่วนรถบรรทุกเฉลี่ยต่อปี	%/ปี
9	mean_rain_total	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือน	มิลลิเมตร/เดือน
10	mean_temp_max	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน
11	mean_temp_min	อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน
12	sd_rain_total	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณน้ำฝนต่อเดือน	มิลลิเมตร/เดือน
13	sd_temp_max	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน
14	sd_temp_min	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดต่อเดือน	เซลเซียส/เดือน

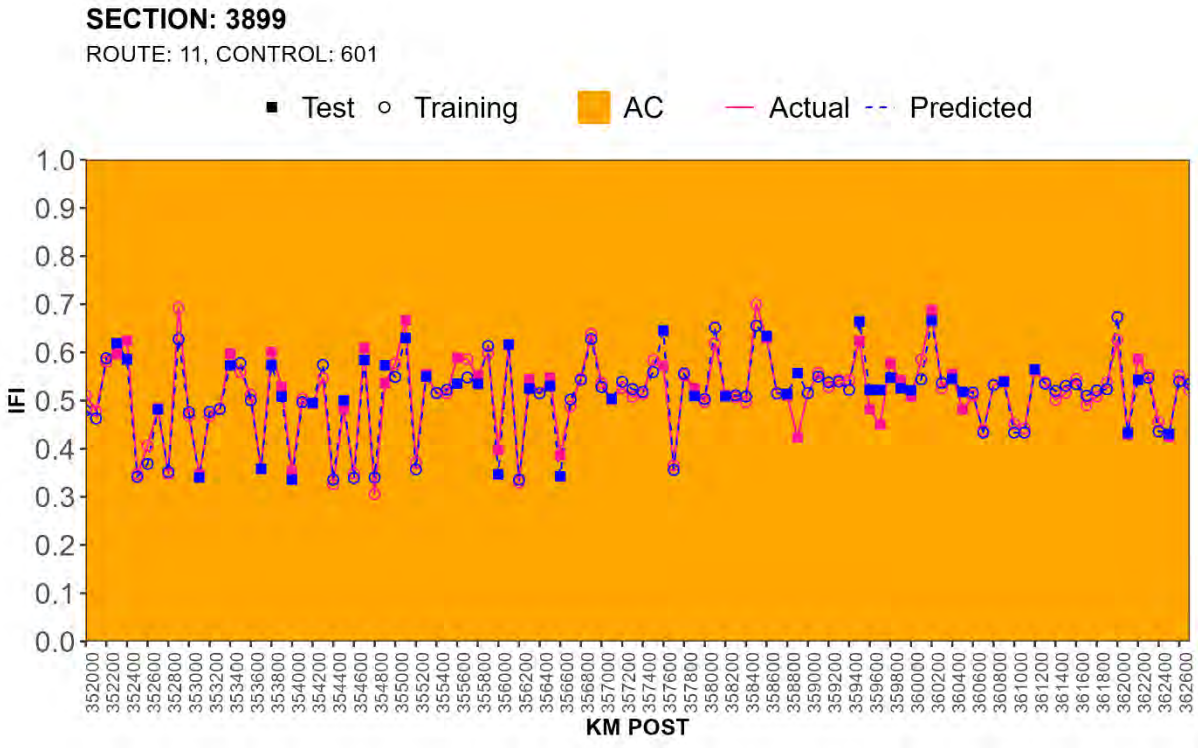
ตารางที่ 4-52 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำ Grid Search

ลำดับ	พารามิเตอร์ ในการสร้างแบบจำลอง	ค่าที่ใช้ ในการทำ Grid Search	ค่าที่ใช้ ในการสร้างแบบจำลอง
1	max_depth	[50, 100, 300, 500]	300
2	max_features	[2, 5, 10, 20, 50]	5
3	min_samples_leaf	[2, 5, 10]	5
4	min_samples_split	[5, 10, 30]	10
5	n_estimators	[100, 300, 500, 1000]	100

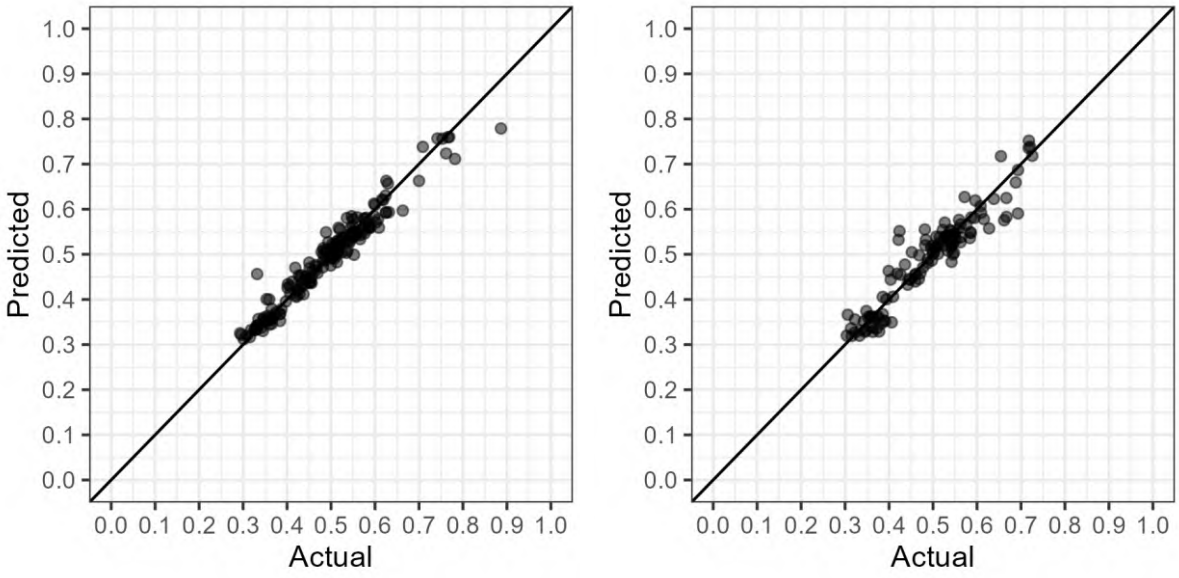
ที่ปรึกษาได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Training Dataset) จำนวน 181 แถว (60%) และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Test Dataset) จำนวน 121 แถว (40%) และได้ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Multiple Linear Regression (MLR) แสดงดังตารางที่ 4-53 ซึ่งแสดงกราฟค่าดัชนีที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลองเทียบกับค่าดัชนีของจริงที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4-42 และรูปที่ 4-43

ตารางที่ 4-53 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Random Forest ของดัชนี IFI

ประเภทแบบจำลอง	ชุดข้อมูล	MAPE (%)	MAE	R^2
Random Forest	Training	3.50	0.02	0.95
	Test	5.19	0.03	0.89
Multiple Linear Regression	Training	7.62	0.04	0.81
	Test	7.39	0.04	0.83



รูปที่ 4-42 ค่า IFI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest ในแต่ละช่วง 100 เมตร



ก) ชุดข้อมูลเรียนรู้ (Training Dataset)

ข) ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Dataset)

รูปที่ 4-43 ค่า IFI ที่ได้จากแบบจำลอง Random Forest

- **ความเรียบของถนน (International Roughness Index , IRI)**

การสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ความเรียบของถนน ที่ปรึกษาได้เลือกใช้แบบจำลอง Neural Network เนื่องจากข้อจำกัดของปริมาณข้อมูลที่มีปริมาณมาก ซึ่งค่อนข้างมากกว่าแบบจำลองคาดการณ์ความแข็งแรงของโครงสร้างถนนและความต้านทานการลื่นไถล ซึ่งมีจำนวนข้อมูลอยู่ทั้งสิ้น 285,849 ตอนควบคุมย่อย โดยที่ปรึกษาได้ทำการคาดการณ์ค่าดัชนีล่วงหน้า 1 ปี โดยมีตัวแปรขาเข้าที่เป็น Features ทั้งหมด 251 ตัวแปร แสดงดังตารางที่ 4-54 และตัวแปรที่เป็น Target 1 ตัวแปร คือ ค่า IRI ในอนาคตอีก 1 ปีที่ต้องการคาดการณ์

ซึ่งที่ปรึกษาได้ทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 4-55 และทำการ Normalize ข้อมูลขาเข้าก่อนนำเข้าแบบจำลองในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4-54 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง IRI

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
1	[IRI_3Y] [IRI_2Y] [IRI_1Y]	ค่าความเรียบของถนน 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี ย้อนหลัง	เมตร/กม.
2	[ac_icrack_3Y] [ac_icrack_2Y] [ac_icrack_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทรอยแตกต่อเนื่อง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี ย้อนหลัง	ตร.ม.
3	[ac_ucrack_3Y] [ac_ucrack_2Y] [ac_ucrack_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทรอยแตกไม่ต่อเนื่อง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี ย้อนหลัง	เมตร
4	[ac_rav_3Y] [ac_rav_2Y] [ac_rav_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทการหลุดร่อน 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี ย้อนหลัง	ตร.ม.
5	[ac_patch_3Y] [ac_patch_2Y] [ac_patch_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทรอยปะซ่อม 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี ย้อนหลัง	ตร.ม.
6	[ac_phole_3Y] [ac_phole_2Y] [ac_phole_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทหลุมบ่อ 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.
7	[ac_bleeding_3Y] [ac_bleeding_2Y] [ac_bleeding_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทการเยิ้ม 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.
8	[cc_transverse_crack_3Y] [cc_transverse_crack_2Y] [cc_transverse_crack_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทจำนวนแผ่นแตกตามขวาง 3 ปี 2 และ 1 ปีย้อนหลัง	แผ่น
9	[cc_non_transverse_crack_3Y] [cc_non_transverse_crack_2Y] [cc_non_transverse_crack_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทจำนวนแผ่นแตกตามยาว และแนวทแยง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	แผ่น

ตารางที่ 4-54 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง IRI (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
10	[cc_spalling_3Y] [cc_spalling_2Y] [cc_spalling_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทรอยบิ่นกะเทาะ 3 ปี 2 และ 1 ปีย้อนหลัง	จุด
11	[cc_patch_3Y] [cc_patch_2Y] [cc_patch_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทรอยปะซ่อม 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	เมตร
12	[cc_cornor_break_3Y] [cc_cornor_break_2Y] [cc_cornor_break_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทมุมแตก 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.
13	[cc_joint_seal_damage_3Y] [cc_joint_seal_damage_2Y] [cc_joint_seal_damage_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทวัสดุยาแนวรอยต่อเสียหาย 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	จุด
14	[m1_temp_min_3Y] [m1_temp_min_2Y] [m1_temp_min_1Y] . . [m12_temp_min_3Y] [m12_temp_min_2Y] [m12_temp_min_1Y]	ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของแต่ละเดือน ย้อนหลัง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี	เซลเซียส/ เดือน
15	[m1_temp_max_3Y] [m1_temp_max_2Y] [m1_temp_max_1Y] . . [m12_temp_max_3Y] [m12_temp_max_2Y] [m12_temp_max_1Y]	ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของแต่ละเดือน ย้อนหลัง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี	เซลเซียส/ เดือน

ตารางที่ 4-54 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง IRI (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
16	[m1_rain_total_3Y] [m1_rain_total_2Y] [m1_rain_total_1Y] . . [m12_rain_total_3Y] [m12_rain_total_2Y] [m12_rain_total_1Y]	ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของแต่ละเดือน ย้อนหลัง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี	มิลลิเมตร/เดือน
17	[plan_code_group_3Y] [plan_code_group_2Y] [plan_code_group_1Y]	หมายเลขรหัสหมวดการซ่อมบำรุงถนน	-
18	[plan_code_number_3Y] [plan_code_number_2Y] [plan_code_number_1Y]	หมายเลขรหัสงานซ่อมบำรุงถนน	-
19	[IND_IRI_3Y] [IND_IRI_2Y] [IND_IRI_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของ IRI 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
20	[IND_ac_icrack_3Y] [IND_ac_icrack_2Y] [IND_ac_icrack_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหาย ของความเสียหายชนิดรอยแตกต่อเนื่อง 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
21	[IND_ac_ucrack_3Y] [IND_ac_ucrack_2Y] [IND_ac_ucrack_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหาย ของความเสียหายชนิดรอยแตกไม่ต่อเนื่อง 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
22	[IND_ac_rav_3Y] [IND_ac_rav_2Y] [IND_ac_rav_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหาย ของความเสียหายชนิดการหลุดร่อน 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-

ตารางที่ 4-54 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง IRI (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
23	[IND_ac_patch_3Y] [IND_ac_patch_2Y] [IND_ac_patch_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดรอยปะซ่อม 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
24	[IND_ac_phole_3Y] [IND_ac_phole_2Y] [IND_ac_phole_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดรอยบิ่นกะเทาะ 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
25	[IND_cc_transverse_crack_3Y] [IND_cc_transverse_crack_2Y] [IND_cc_transverse_crack_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดจำนวนแผ่นแตกตามขวาง 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
26	[IND_cc_non_transverse_crack_3Y] [IND_cc_non_transverse_crack_2Y] [IND_cc_non_transverse_crack_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดจำนวนแผ่นแตกตามยาว 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
27	[IND_cc_spalling_3Y] [IND_cc_spalling_2Y] [IND_cc_spalling_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดรอยบิ่นกะเทาะ 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
28	[IND_cc_patch_3Y] [IND_cc_patch_2Y] [IND_cc_patch_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดรอยปะซ่อม 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
29	[IND_cc_cornor_break_3Y] [IND_cc_cornor_break_2Y] [IND_cc_cornor_break_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดมุมแตก 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-

ตารางที่ 4-54 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง IRI (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
30	[IND_cc_joint_seal_damage_3Y] [IND_cc_joint_seal_damage_2Y] [IND_cc_joint_seal_damage_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดวัสดุแนวรอยต่อเสียหาย 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
31	surface	ประเภทผิวทาง 0 = ผิวทางลาดยาง 1 = ผิวทางคอนกรีต	
32	hierarchy	ลำดับชั้นถนน	
33	veh_total	ปริมาณจราจรเฉลี่ยรายวันตลอดปี (Average Annual Daily Traffic, AADT)	คัน/วัน
34	hytot_t	สัดส่วนรถบรรทุกเฉลี่ยต่อปี	%/ปี
35	num_days_LRW_XY	จำนวนวันจากการซ่อมถนนล่าสุดถึงวันเก็บข้อมูล (1-3 ปีย้อนหลัง)	วัน
36	RW_INSP_XY	มีการซ่อมถนนก่อนการเก็บข้อมูล (1-3 ปีย้อนหลัง) (1=มี, 0=ไม่มี)	-

- **Data Normalization**

Data Normalization คือ วิธีการปรับขอบเขตของข้อมูลแต่ละ Feature ให้อยู่ในช่วงเดียวกัน ให้เหมาะกับการนำไปประมวลผลต่อ เช่น ช่วง [0,1] หรือ [-1,1] เพราะตัวแปรอิสระที่ได้รับมาจากข้อมูลดิบนั้นมักมีหลากหลายชนิด หลากหลายรูปแบบข้อมูลรวมทั้งหลากหลาย Scale ช่วงข้อมูล สำหรับ Machine Learning ในบางชนิดไม่สามารถรับข้อมูลหลากหลาย Scale ได้โดยตรง จึงจำเป็นที่จะต้องทำ Normalization ก่อนที่จะทำการป้อนข้อมูลให้กับแบบจำลอง เพื่อช่วยในการคำนวณได้ง่ายและประมวลผลที่รวดเร็วขึ้น โดยวิธีที่ใช้ในงานวิจัย คือ วิธี z-score แสดงดังสมการที่ 4-16 และสมการที 4-17

$$z_{train} = \frac{x_{train} - \mu_{train}}{\sigma_{train}} \quad (4\text{-}18)$$

$$z_{test} = \frac{x_{test} - \mu_{train}}{\sigma_{train}} \quad (4\text{-}19)$$

โดยที่

z = Standardized Value

x_{train} = ข้อมูลขาเข้าของข้อมูลสำหรับ Train แบบจำลอง

x_{test} = ข้อมูลขาเข้าของข้อมูลสำหรับ Test แบบจำลอง

μ_{train} = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระของข้อมูลสำหรับ Train แบบจำลอง

σ_{train} = ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของตัวแปรอิสระของข้อมูลสำหรับ Train แบบจำลอง

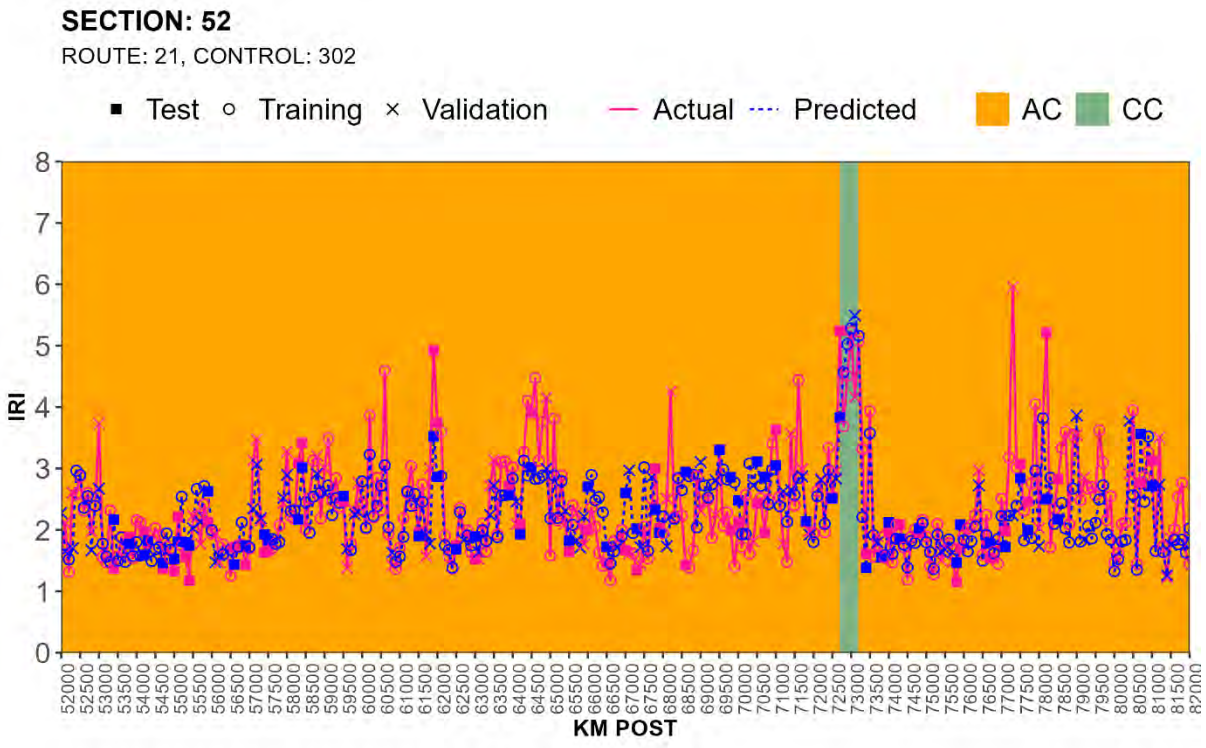
ตารางที่ 4-55 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง Neural Network

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง
Hidden Layer	4
Hidden Cell	126
Learning Rate	0.001
Epoch	50
Batch Size	32

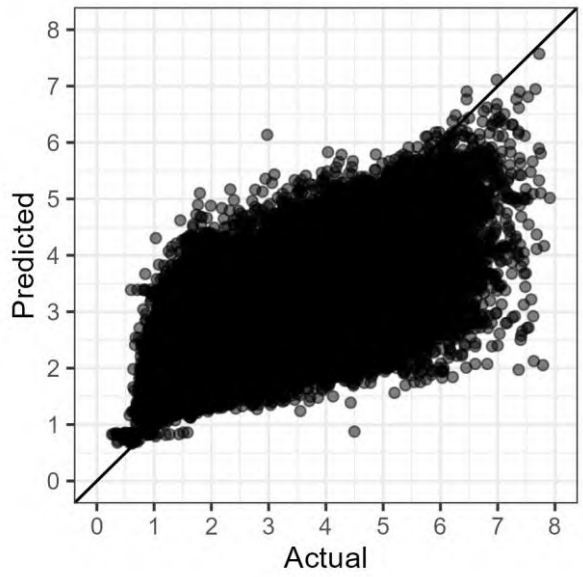
ที่ปรึกษาได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชุดข้อมูล โดยแบ่งในสัดส่วนลำดับชั้นของถนน และสำนักงานทางหลวงในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยข้อมูล 3 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Training Dataset) จำนวน 172,829 แถว (60%) ข้อมูลที่ใช้สำหรับปรับแก้แบบจำลอง (Validation Dataset) จำนวน 57,580 แถว (20%) และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Test Dataset) จำนวน 57,699 แถว (20%) และได้ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองดังตารางที่ 4-56 ซึ่งแสดงกราฟค่าดัชนีที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลองเทียบกับค่าดัชนีของจริงที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4-44 และรูปที่ 4-45

ตารางที่ 4-56 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Neural Network ของดัชนี IRI

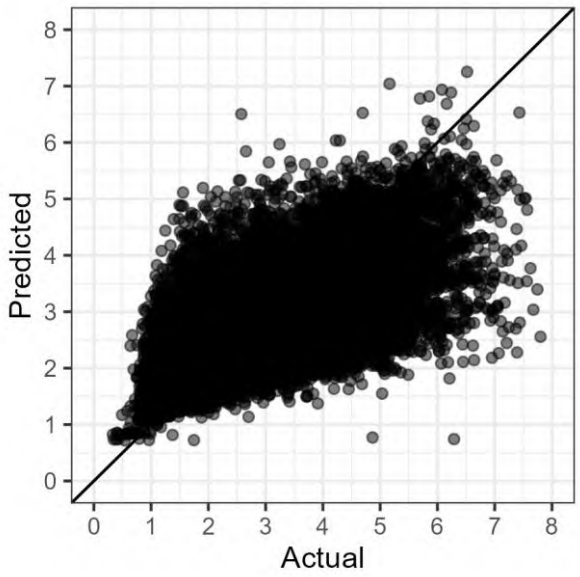
ประเภทแบบจำลอง	ชุดข้อมูล	MAPE (%)	MAE	R^2
Neural Network	Training	20.93	0.50	0.58
	Validation	21.88	0.53	0.53
	Test	21.78	0.53	0.53
Multiple Linear Regression	Training	25.69	0.61	0.41
	Validation	40.58	0.99	0.05
	Test	25.52	0.60	0.41



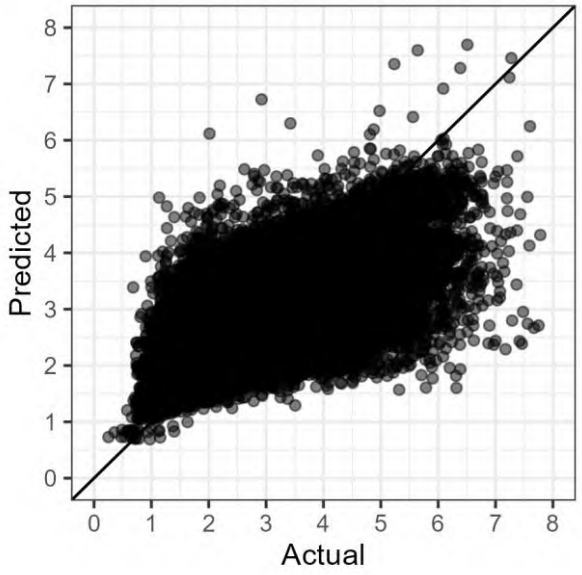
รูปที่ 4-44 ค่า IRI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ทุก ๆ 100 เมตร



ก) ชุดข้อมูลเรียนรู้ (Training Dataset)



ข) ชุดข้อมูลตรวจสอบ (Validation Dataset)



ค) ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Dataset)

รูปที่ 4-45 ค่า IRI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network

- **ความเสียหายของผิวทาง (Pavement Condition Index, PCI)**

การสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ความเสียหายของถนน ที่ปรึกษาได้เลือกใช้แบบจำลอง Neural Network เนื่องจากข้อจำกัดของปริมาณข้อมูลที่มีปริมาณมาก ซึ่งค่อนข้างมากกว่าแบบจำลองคาดการณ์ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน และความต้านทานการลื่นไถล ซึ่งมีจำนวนข้อมูลอยู่ทั้งสิ้น 285,849 ตอนควบคุมย่อย โดยที่ปรึกษาได้ทำการคาดการณ์ค่าดัชนีล่วงหน้า 1 ปี โดยแบ่งแบบจำลองตามประเภทผิวทาง ได้แก่ ผิวทางลาดยางทั้งหมด 255,454 ตอนควบคุมย่อย และผิวทางคอนกรีต 30,395 ตอนควบคุมย่อย โดยมีตัวแปรขาเข้าที่เป็น Features ทั้งหมด 215 ตัวแปร แสดงดังตารางที่ 4-57 และตัวแปรที่เป็น Target 1 ตัวแปร คือ ค่า PCI ในอนาคตอีก 1 ปี ที่ต้องการคาดการณ์

ซึ่งที่ปรึกษาได้ทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดพารามิเตอร์และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 4-58 และทำการ Normalize ข้อมูลขาเข้าก่อนนำเข้าแบบจำลอง ในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4-57 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทาง

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
1.	[IRI_3Y] [IRI_2Y] [IRI_1Y]	ค่าความเรียบของถนน 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	เมตร/กม.
2.	[ac_icrack_3Y] [ac_icrack_2Y] [ac_icrack_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทรอยแตกต่อเนื่อง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.
3.	[ac_ucrack_3Y] [ac_ucrack_2Y] [ac_ucrack_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทรอยแตกไม่ต่อเนื่อง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	เมตร
4.	[ac_rav_3Y] [ac_rav_2Y] [ac_rav_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทการหลุดร่อน 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.
5.	[ac_patch_3Y] [ac_patch_2Y] [ac_patch_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทรอยปะซ่อม 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.

ตารางที่ 4-57 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทาง (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
6.	[ac_phole_3Y] [ac_phole_2Y] [ac_phole_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทหลุมบ่อ 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.
7.	[ac_bleeding_3Y] [ac_bleeding_2Y] [ac_bleeding_1Y]	ความเสียหายของผิวทางลาดยาง ประเภทการเยิ้ม 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.
8.	[cc_transverse_crack_3Y] [cc_transverse_crack_2Y] [cc_transverse_crack_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทจำนวนแผ่นแตกตามขวาง 3 ปี 2 และ 1 ปีย้อนหลัง	แผ่น
9.	[cc_non_transverse_crack_3Y] [cc_non_transverse_crack_2Y] [cc_non_transverse_crack_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทจำนวนแผ่นแตกตามยาว และแนวทแยง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	แผ่น
10.	[cc_spalling_3Y] [cc_spalling_2Y] [cc_spalling_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทรอยบิ่นกะเทาะ 3 ปี 2 และ 1 ปี ย้อนหลัง	จุด
11.	[cc_patch_3Y] [cc_patch_2Y] [cc_patch_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทรอยปะซ่อม 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี ย้อนหลัง	เมตร
12.	[cc_cornor_break_3Y] [cc_cornor_break_2Y] [cc_cornor_break_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทมุมแตก 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	ตร.ม.
13.	[cc_joint_seal_damage_3Y] [cc_joint_seal_damage_2Y] [cc_joint_seal_damage_1Y]	ความเสียหายของผิวทางคอนกรีต ประเภทวัสดุยาแนวรอยต่อเสียหาย 3 ปี 2 ปี และ 1 ปีย้อนหลัง	จุด

ตารางที่ 4-57 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทาง (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
14.	[m1_temp_min_3Y] [m1_temp_min_2Y] [m1_temp_min_1Y] . . [m12_temp_min_3Y] [m12_temp_min_2Y] [m12_temp_min_1Y]	ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของแต่ละเดือน ย้อนหลัง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี	เซลเซียส/เดือน
15.	[m1_temp_max_3Y] [m1_temp_max_2Y] [m1_temp_max_1Y] . . [m12_temp_max_3Y] [m12_temp_max_2Y] [m12_temp_max_1Y]	ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของแต่ละเดือน ย้อนหลัง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี	เซลเซียส/เดือน
16	[m1_rain_total_3Y] [m1_rain_total_2Y] [m1_rain_total_1Y] . . [m12_rain_total_3Y] [m12_rain_total_2Y] [m12_rain_total_1Y]	ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของแต่ละเดือน ย้อนหลัง 3 ปี 2 ปี และ 1 ปี	มิลลิเมตร/เดือน
17	[plan_code_group_3Y] [plan_code_group_2Y] [plan_code_group_1Y]	หมายเลขรหัสหมวดการซ่อมบำรุงถนน	-
18	[plan_code_number_3Y] [plan_code_number_2Y] [plan_code_number_1Y]	หมายเลขรหัสงานซ่อมบำรุงถนน	-

ตารางที่ 4-57 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทาง (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
19	[IND_IRI_3Y] [IND_IRI_2Y] [IND_IRI_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของ IRI 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
20	[IND_ac_icrack_3Y] [IND_ac_icrack_2Y] [IND_ac_icrack_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดรอยแตกต่อเนื่อง 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
21	[IND_ac_ucrack_3Y] [IND_ac_ucrack_2Y] [IND_ac_ucrack_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดรอยแตกไม่ต่อเนื่อง 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
22	[IND_ac_rav_3Y] [IND_ac_rav_2Y] [IND_ac_rav_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดการหลุดร่อน 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
23	[IND_ac_patch_3Y] [IND_ac_patch_2Y] [IND_ac_patch_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดรอยปะซ่อม 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
24	[IND_ac_phole_3Y] [IND_ac_phole_2Y] [IND_ac_phole_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดรอยบิ่นกะเทาะ 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
25	[IND_cc_transverse_crack_3Y] [IND_cc_transverse_crack_2Y] [IND_cc_transverse_crack_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดจำนวนแผ่นแตกตามขวาง 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-

ตารางที่ 4-57 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทาง (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
26	[IND_cc_non_transverse_crack_3Y] [IND_cc_non_transverse_crack_2Y] [IND_cc_non_transverse_crack_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดจำนวนแผ่นแตกตามยาว 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
27	[IND_cc_spalling_3Y] [IND_cc_spalling_2Y] [IND_cc_spalling_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดรอยบิ่นกะเทาะ 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
28	[IND_cc_patch_3Y] [IND_cc_patch_2Y] [IND_cc_patch_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดรอยปะซ่อม 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
29	[IND_cc_cornor_break_3Y] [IND_cc_cornor_break_2Y] [IND_cc_cornor_break_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดมุมแตก 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
30	[IND_cc_joint_seal_damage_3Y] [IND_cc_joint_seal_damage_2Y] [IND_cc_joint_seal_damage_1Y]	ตัวแปรบ่งชี้ข้อมูลขาดหายของความเสียหายชนิดวัสดุแนวรอยต่อเสียหาย 1 = ใช่ข้อมูลขาดหาย 0 = ไม่ใช่ข้อมูลขาดหาย	-
31	surface	ประเภทผิวทาง 0 = ผิวทางลาดยาง 1 = ผิวทางคอนกรีต	
32	hierarchy	ลำดับชั้นถนน	
33	veh_total	ปริมาณจราจรเฉลี่ยรายวันตลอดปี (Average Annual Daily Traffic, AADT)	คัน/วัน
34	hytot_t	สัดส่วนรถบรรทุกเฉลี่ยต่อปี	%/ปี
35	num_days_LRW_XY	จำนวนวันจากการซ่อมถนนล่าสุดถึงวันเก็บข้อมูล (1-3 ปีย้อนหลัง)	**วัน**

ตารางที่ 4-57 ตัวแปรและคุณลักษณะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทาง (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
36	RW_INSP_XY	มีการซ่อมถนนก่อนการเก็บข้อมูล (1-3 ปีย้อนหลัง) (1=มี, 0=ไม่มี)	-

ตารางที่ 4-58 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง Neural Network

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทาง
Hidden Layer	4
Hidden Cell	93
Learning Rate	0.001
Epoch	50
Batch Size	32

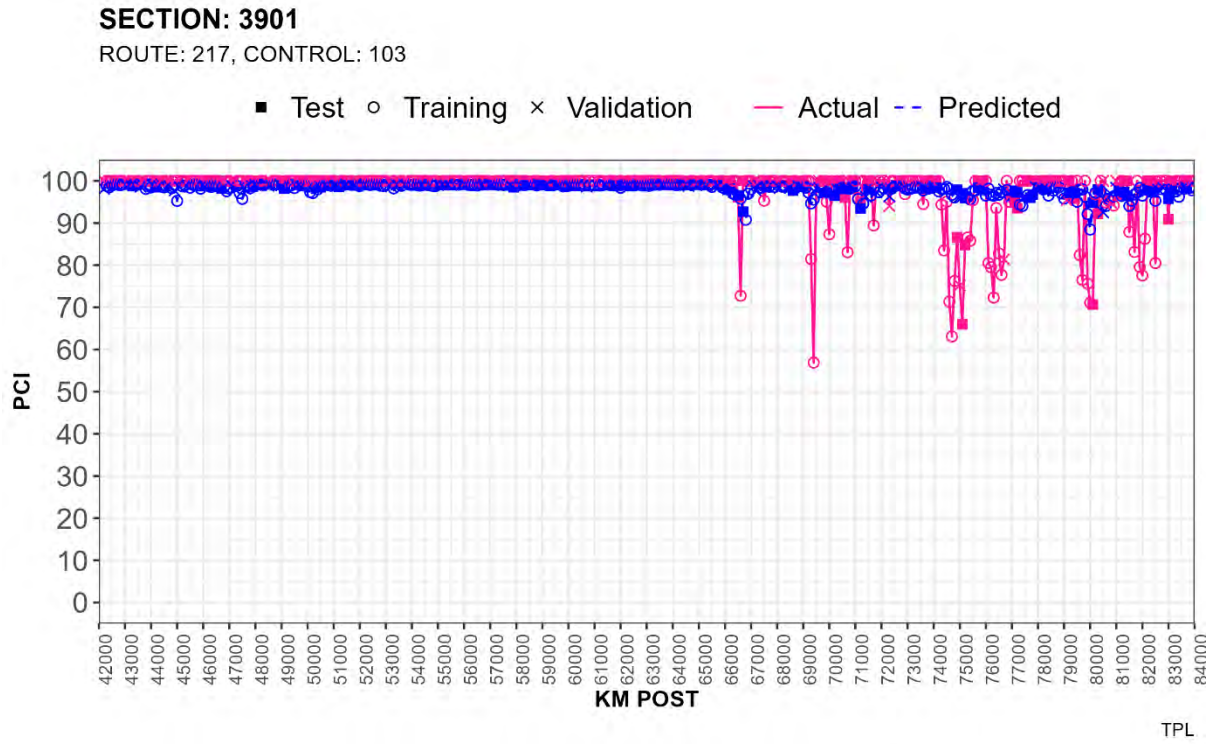
ที่ปรึกษาได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชุดข้อมูล โดยแบ่งในสัดส่วนลำดับชั้นของถนน และสำนักงานทางหลวงในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยข้อมูล 3 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Training Dataset) จำนวนร้อยละ 60% ของข้อมูลทั้งหมด ข้อมูลที่ใช้สำหรับปรับแก้แบบจำลอง (Validation Dataset) จำนวนร้อยละ 20% ของข้อมูลทั้งหมด และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Test Dataset) จำนวนร้อยละ 20% ของข้อมูลทั้งหมด และได้ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองผิวทางลาดยางแสดงดังตารางที่ 4-59 และผิวทางคอนกรีตแสดงดังตารางที่ 4-60 ซึ่งแสดงกราฟค่าดัชนีที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลองเทียบกับค่าดัชนีของจริงที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูลแสดงผิวทางลาดยางแสดงดังรูปที่ 4-46 และผิวทางคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 4-47

ตารางที่ 4-59 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Neural Network ของดัชนี PCI ของผิวทางลาดยาง

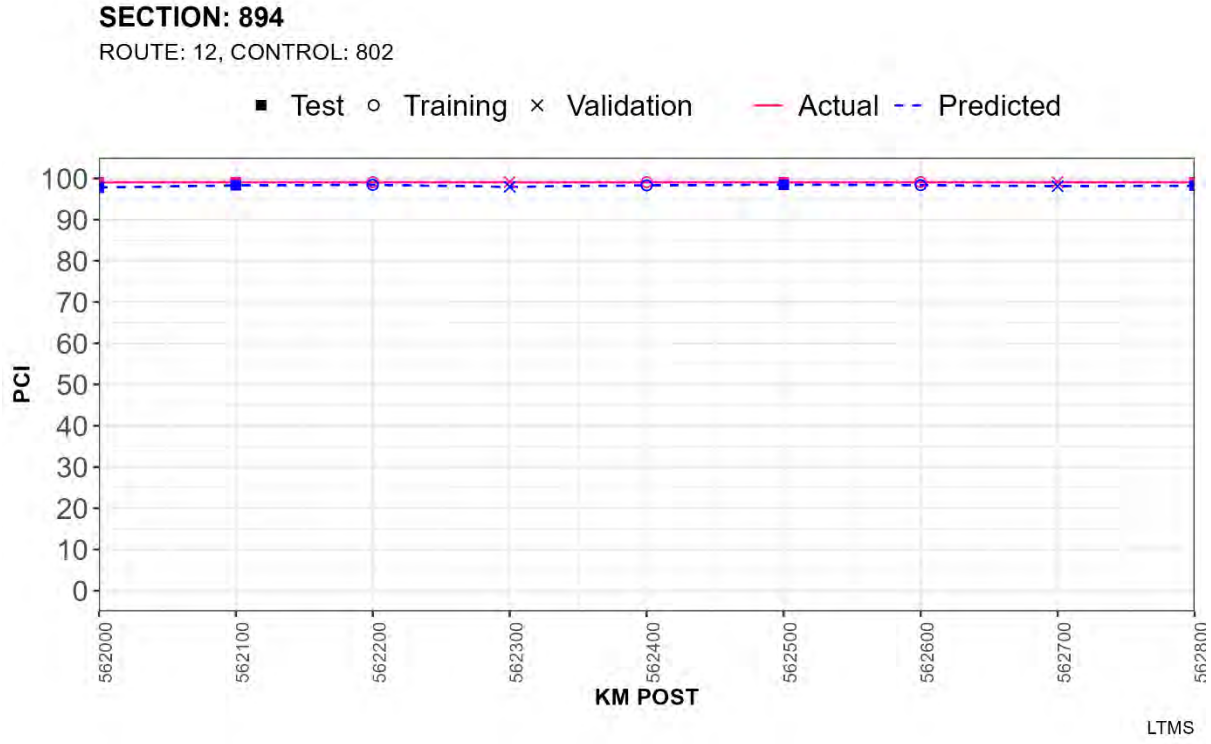
ประเภทแบบจำลอง	ชุดข้อมูล	MAPE (%)	MAE	R^2
Neural Network	Training	7.22	5.89	0.43
	Validation	7.47	6.08	0.38
	Test	7.54	6.10	0.38
Multiple Linear Regression	Training	8.74	7.04	0.23
	Validation	8.71	7.03	0.23
	Test	8.82	7.07	0.26

ตารางที่ 4-60 ผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลอง Neural Network ของดัชนี PCI ของผิวทางคอนกรีต

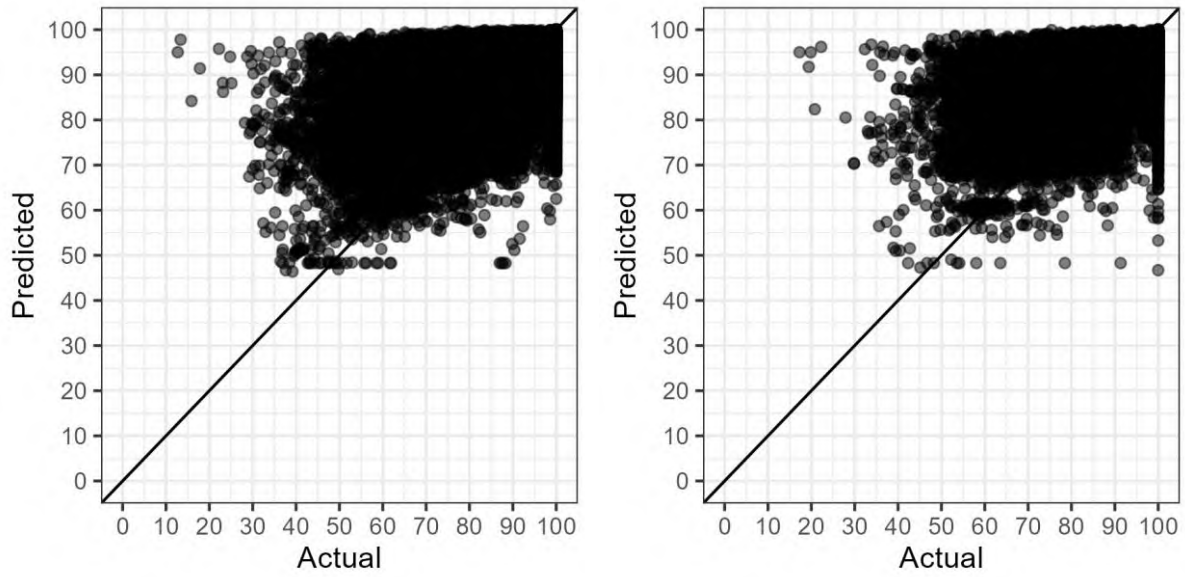
ประเภทแบบจำลอง	ชุดข้อมูล	MAPE (%)	MAE	R^2
Neural Network	Training	0.43	0.43	0.47
	Validation	0.40	0.45	0.17
	Test	0.42	0.42	0.10
Multiple Linear Regression	Training	0.23	0.23	0.42
	Validation	0.25	0.24	0.42
	Test	0.23	0.22	0.44



รูปที่ 4-46 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ทุก ๆ 100 เมตรของดัชนี PCI ของผิวทางลาดยาง

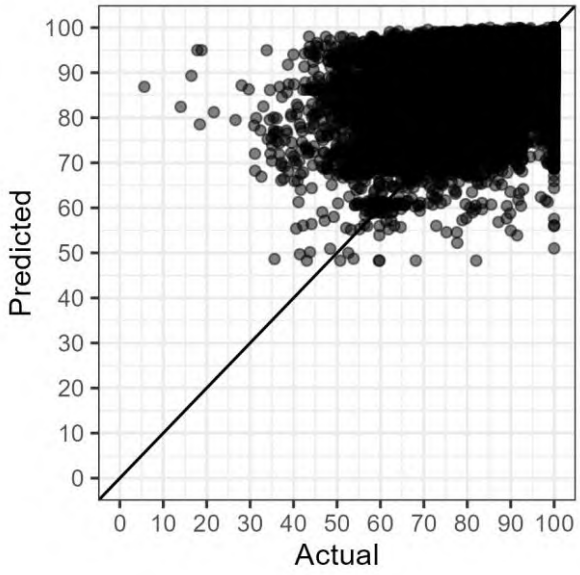


รูปที่ 4-47 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ทุก ๆ 100 เมตรของดัชนี PCI ของผิวทางคอนกรีต



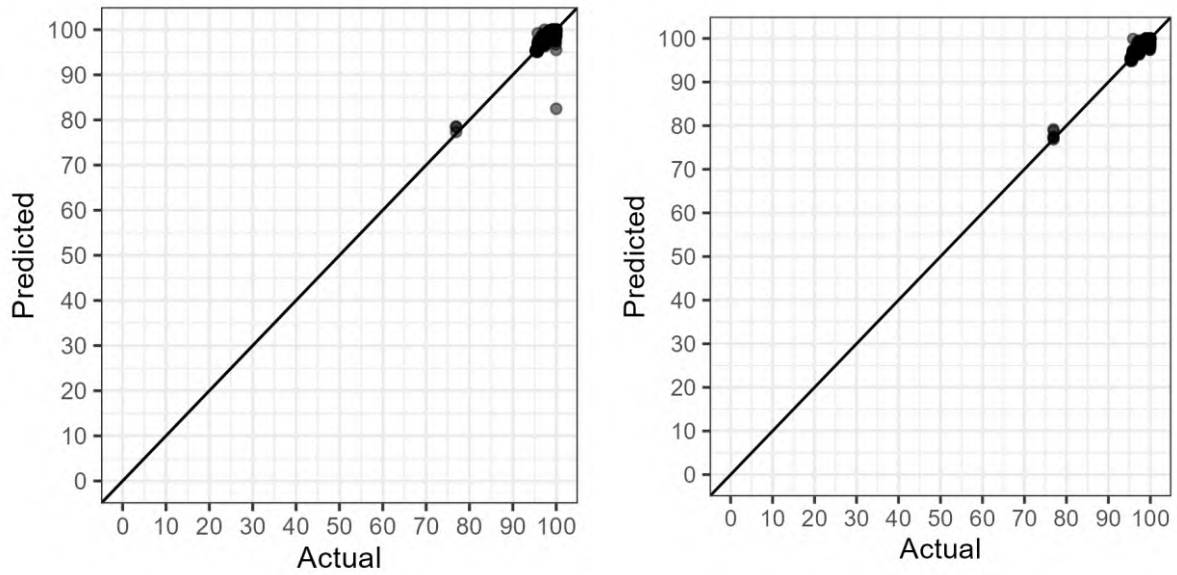
ก) ชุดข้อมูลเรียนรู้ (Training Dataset)

ข) ชุดข้อมูลตรวจสอบ (Validation Dataset)



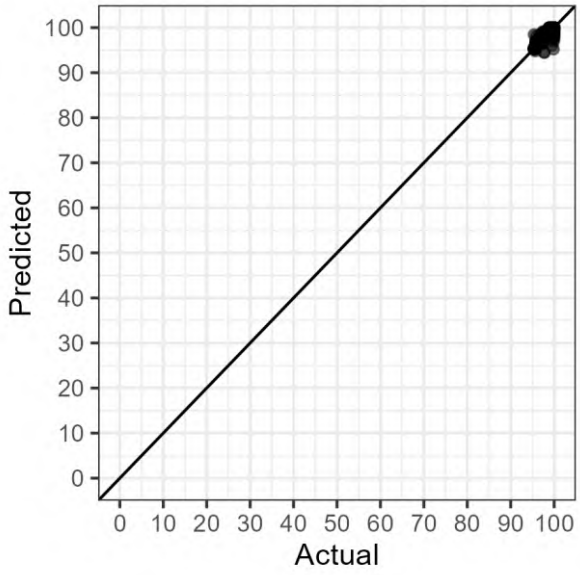
ค) ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Dataset)

รูปที่ 4-48 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ของผิวทางลาดยาง



ก) ชุดข้อมูลเรียนรู้ (Training Dataset)

ข) ชุดข้อมูลตรวจสอบ (Validation Dataset)



ค) ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Dataset)

รูปที่ 4-49 ค่า PCI ที่ได้จากแบบจำลอง Neural Network ของผิวทางคอนกรีต

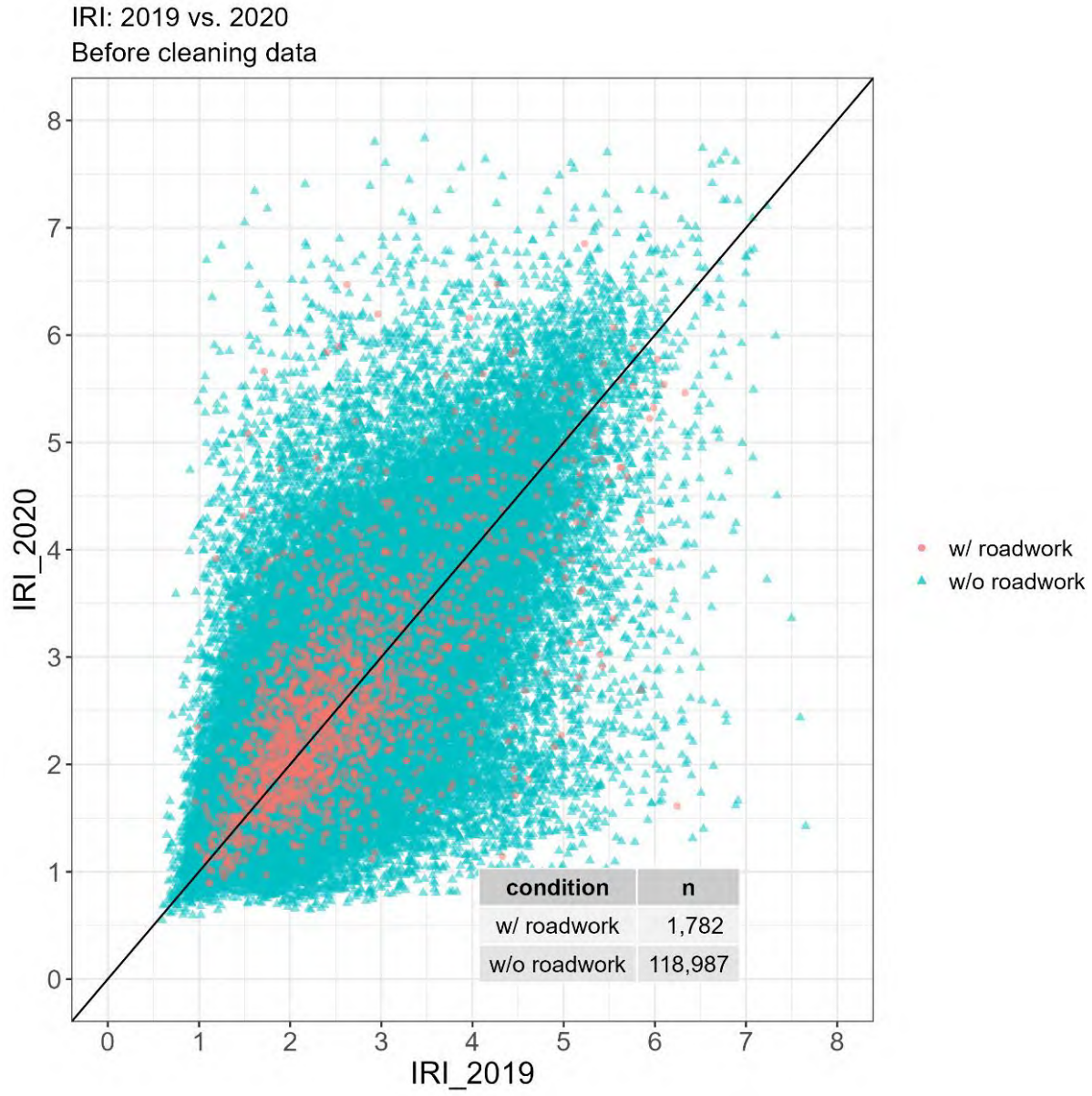
- **แบบจำลองที่ทำการคัดกรองข้อมูลที่ไม่สมเหตุสมผลออกก่อนนำมาใช้สร้างแบบจำลอง**

1) การวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ (Deterioration)

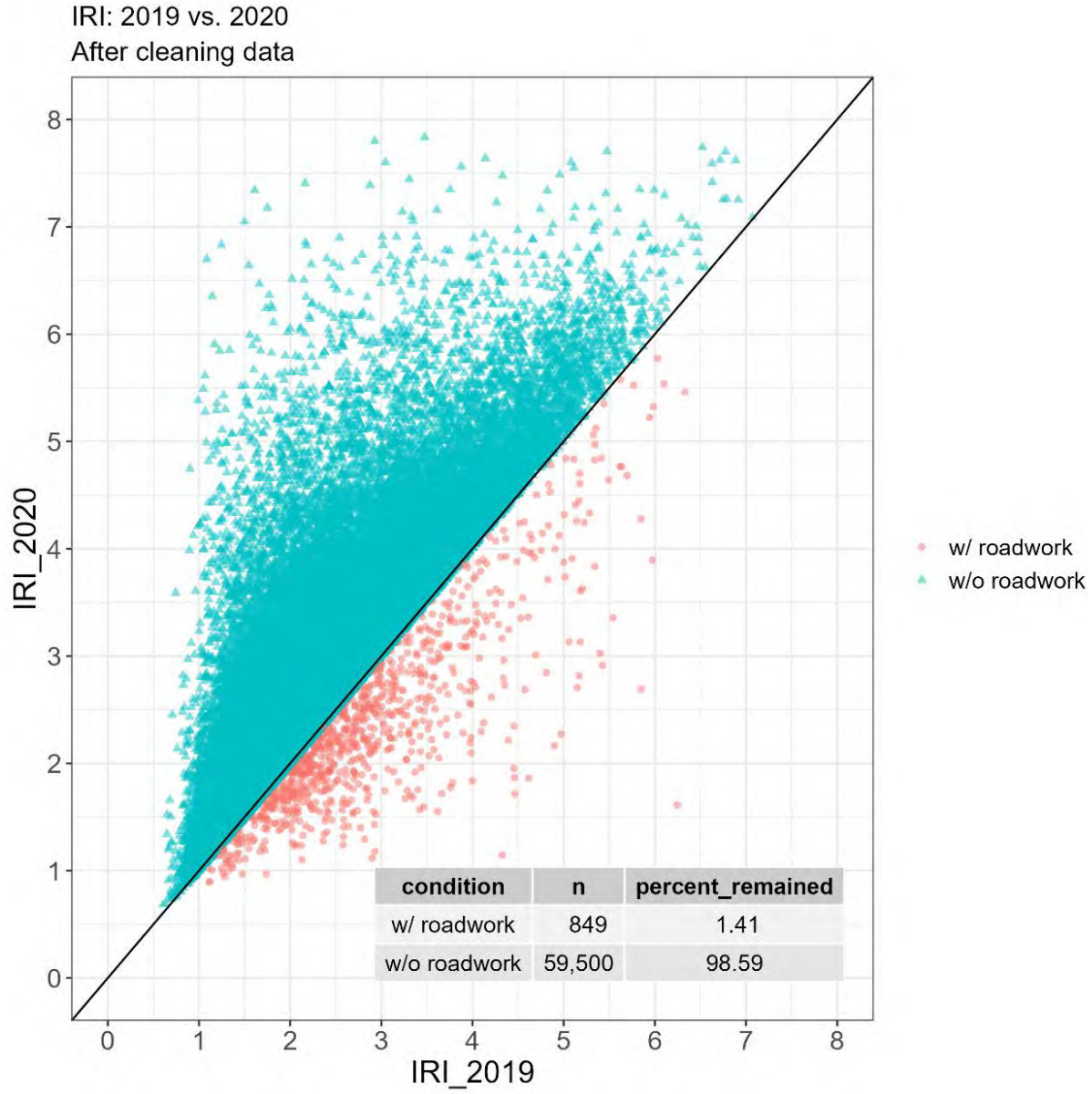
ที่ปรึกษาได้ดำเนินการคัดกรองข้อมูล IRI และ PCI ออกใน 2 กรณี ได้แก่

- **กรณีที่ 1** ไม่มีการซ่อมบำรุงสายทางในปีก่อนหน้าแต่มีค่า IRI ลดลง หรือมีค่า PCI เพิ่มขึ้น
- **กรณีที่ 2** มีการซ่อมบำรุงสายทางในปีก่อนหน้าแต่ค่า IRI เพิ่มขึ้น หรือมีค่า PCI ลดลง

โดยแสดงรูปตัวอย่างข้อมูลก่อนการคัดกรองของข้อมูล IRI แสดงดังรูปที่ 4-50



ก) ข้อมูล IRI ก่อนการคัดกรองข้อมูล



ข) ข้อมูล IRI หลังการคัดกรองข้อมูล

รูปที่ 4-50 ตัวอย่างการคัดกรองข้อมูล IRI ก่อนนำมาสร้างแบบจำลอง

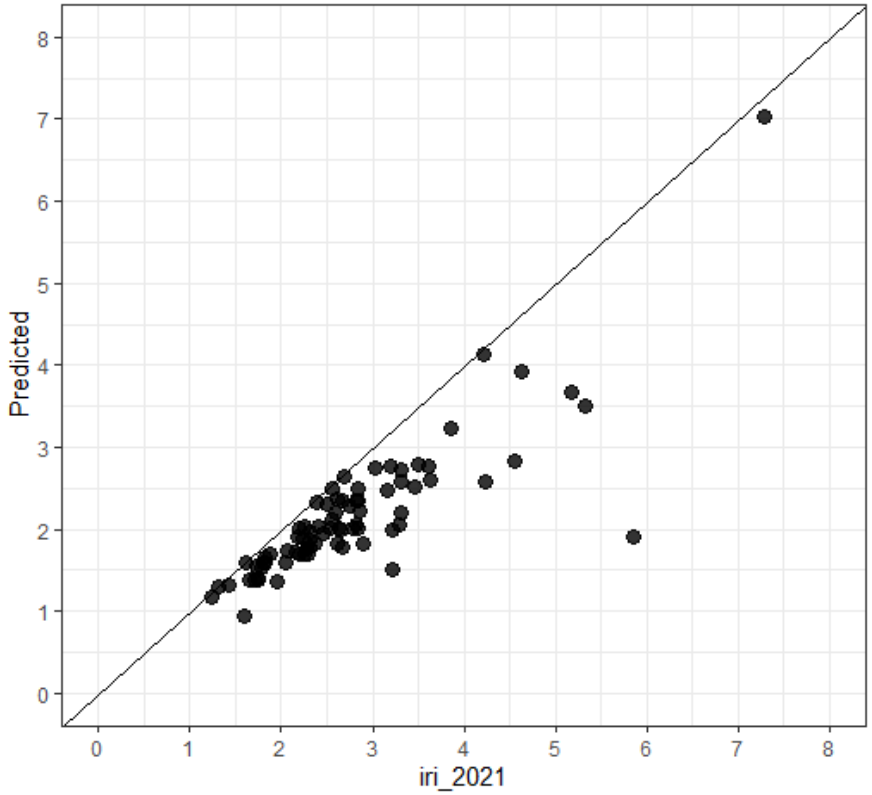
หลังจากการคัดกรองข้อมูลแล้วได้ผลลัพธ์ของแบบจำลอง IRI แสดงดังตารางที่ 4-61 และ PCI แสดงดังตารางที่ 4-62 และแสดงตัวอย่างกราฟผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง IRI ที่มีการซ่อมบำรุงสายทางแสดงดังรูปที่ 4-51 และไม่มีการซ่อมบำรุงสายทางแสดงดังรูปที่ 4-52

ตารางที่ 4-61 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง IRI

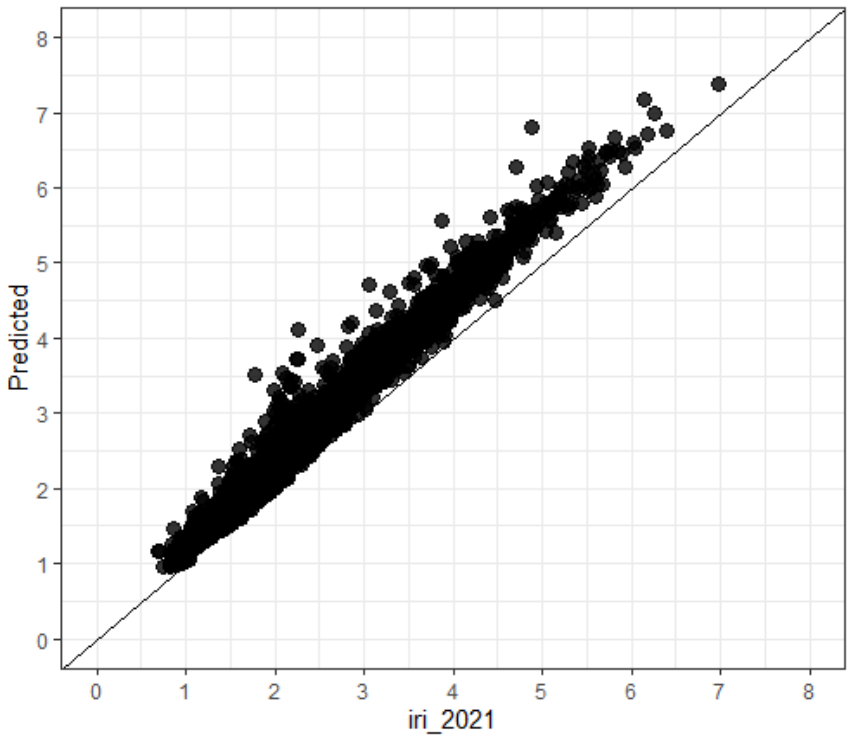
ประเภทแบบจำลอง	ชุดข้อมูล	MAPE (%)	MAE	R^2
แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลดัชนีเป็นข้อมูลขาเข้า	Training	15.12	0.37	0.72
	Validation	16.30	0.41	0.67
	Test	16.25	0.41	0.66
แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์สำรวจเป็นข้อมูลขาเข้า	Training	14.40	0.35	0.78
	Validation	16.94	0.42	0.67
	Test	16.77	0.42	0.66

ตารางที่ 4-62 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง PCI

ประเภทแบบจำลอง	ชุดข้อมูล	MAPE (%)	MAE	R^2
แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลดัชนีเป็นข้อมูลขาเข้า	Training	10.17	8.08	0.32
	Validation	10.28	8.17	0.31
	Test	10.28	8.16	0.30
แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์สำรวจเป็นข้อมูลขาเข้า (ผิวทางลาดยาง)	Training	10.30	8.12	0.33
	Validation	10.82	8.53	0.26
	Test	10.83	8.54	0.27
แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์สำรวจเป็นข้อมูลขาเข้า (ผิวทางคอนกรีต)	Training	2.37	2.35	0.54
	Validation	2.43	2.41	0.50
	Test	2.39	2.37	0.56



รูปที่ 4-51 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง IRI ที่มีการซ่อมบำรุงสายทาง



รูปที่ 4-52 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง IRI ที่ไม่มีการซ่อมบำรุงสายทาง

2) การวิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Road Work Effect)

ที่ปรึกษาได้วิเคราะห์ผลกระทบของการซ่อมบำรุงจากตอนควบคุมที่มีการซ่อมบำรุง โดยแสดงจำนวนสัดส่วนข้อมูลงานซ่อมบำรุงในแต่ละวิธีแสดงดังตารางที่ 4-63

ตารางที่ 4-63 สัดส่วนงานซ่อมบำรุงในแต่ละวิธีที่ส่งผลต่อสภาพถนน

ลำดับ	รหัสงาน	คำอธิบายรหัสงาน	จำนวนข้อมูล	สัดส่วนข้อมูล (%)
1	22100	งานฉาบผิวทางแอสฟัลต์	2,848	19.74
2	22200	งานเสริมผิวทางแอสฟัลต์	5,133	35.57
3	23100	งานปรับระดับผิวทาง	113	6.89
4	23200	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์	994	10.88
5	23300	งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม นำกลับมาใช้ใหม่	1,570	5.29
6	23400	งานซ่อมทางผิวคอนกรีต	764	13.06
7	24100	งานบูรณะผิวทางแอสฟัลต์	1,884	7.78
8	24200	งานบูรณะผิวทางคอนกรีต	1,123	19.74

ซึ่งดัชนีที่มีข้อมูลดังกล่าวโดยแบ่งเป็น 2 ดัชนี ได้แก่ ความเรียบของถนน (IRI) และความเสียหายของผิวทาง (PCI) โดยมีรายละเอียด ในการวิเคราะห์แต่ละดัชนี ดังนี้

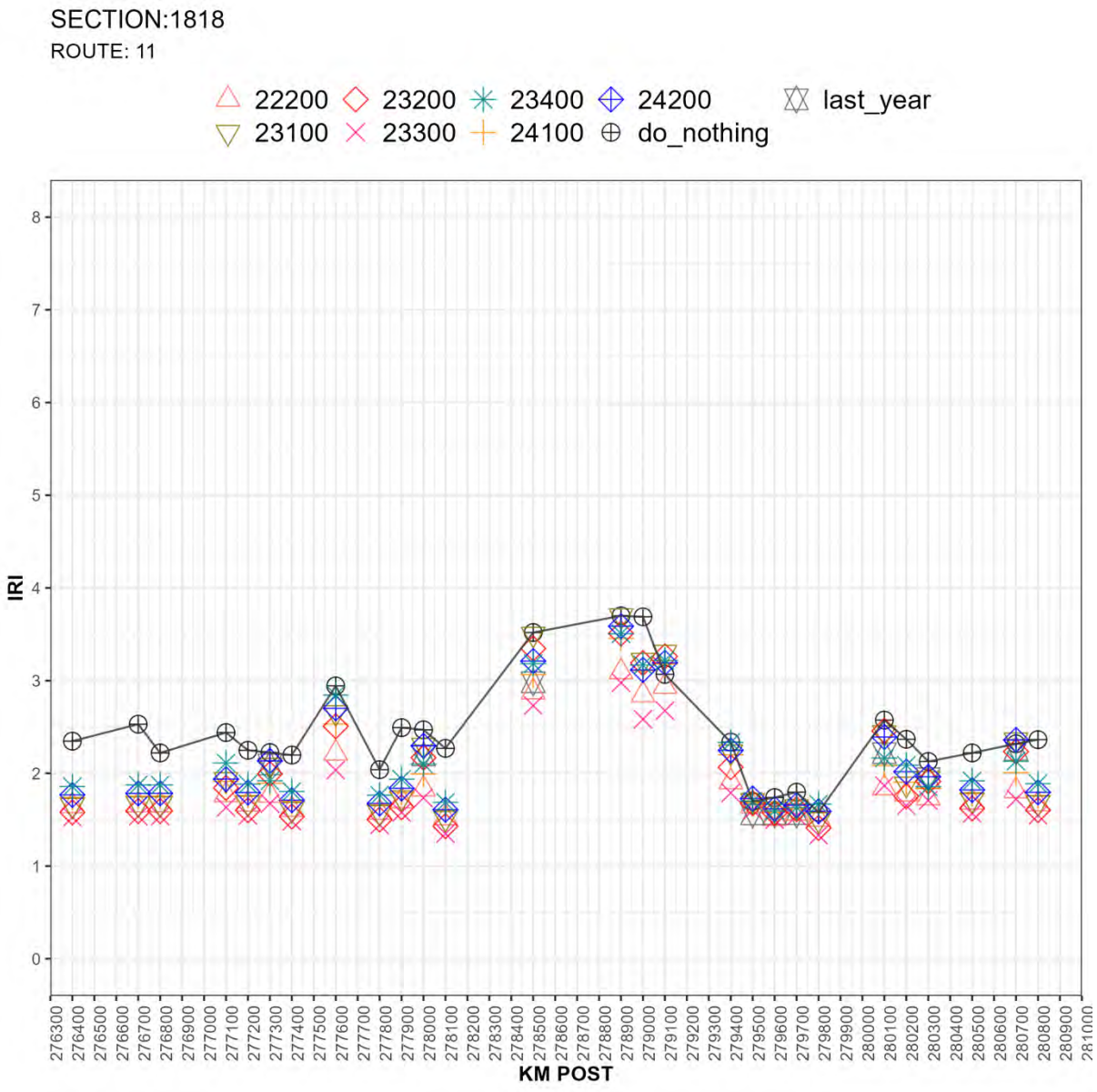
- **ความเรียบของถนน (International Roughness Index , IRI)**

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ผลกระทบของการซ่อมบำรุงของความเรียบของถนนของทั้งประเภทผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีต โดยเลือกรหัสงานบำรุงสายทางที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จากข้อมูล ซึ่งรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4-64

ตารางที่ 4-64 รายละเอียดงานซ่อมบำรุงทางที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุงของดัชนี IRI

ลำดับ	รหัสงาน	คำอธิบายรหัสงาน
1	22200	งานเสริมผิวทางแอสฟัลต์
2	23100	งานปรับระดับผิวทาง
3	23200	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์
4	23300	งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม นำกลับมาใช้ใหม่
5	23400	งานซ่อมทางผิวคอนกรีต
6	24100	งานบูรณะผิวทางแอสฟัลต์
7	24200	งานบูรณะผิวทางคอนกรีต

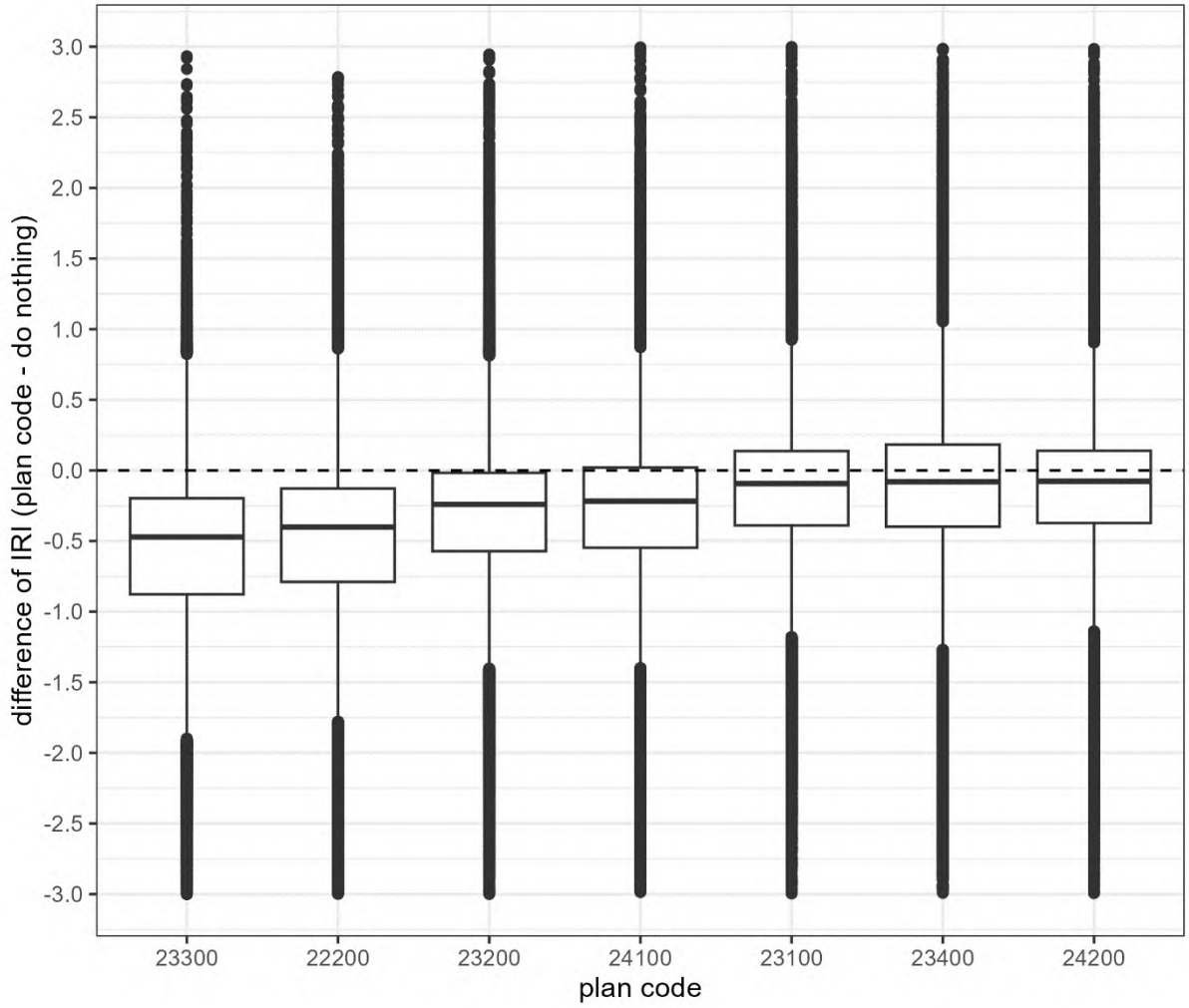
ที่ปรึกษาได้ดำเนินการปรับวิธีการซ่อมข้อมูลทั้ง 7 วิธีในแบบจำลองการคาดการณ์ความเรียบของถนน ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4-53



รูปที่ 4-53 ผลการเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีของดัชนีความเรียบของถนน

จากตัวอย่างในรูปที่ 4-53 จากการคาดการณ์ของแบบจำลอง ถ้าไม่มีการซ่อมบำรุงผิวทางในปีถัดไป ค่า IRI จะเพิ่มขึ้นร้อยละเฉลี่ย 15.48 จากปีก่อนหน้า และวิธีการซ่อมบำรุงสายทาง 3 ลำดับแรกที่ช่วยทำให้ค่า IRI มีค่าต่ำลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีค่า IRI ในอนาคตที่ไม่มีงานซ่อมบำรุงสายทาง ได้แก่ รหัสงาน 23300 จะทำให้ค่า IRI ลดลงร้อยละเฉลี่ย 23.94 รหัสงาน 22200 จะทำให้ค่า IRI ลดลงร้อยละเฉลี่ย 18.51 และรหัสงาน 23200 จะทำให้ค่า IRI ลดลงร้อยละเฉลี่ย 16.37

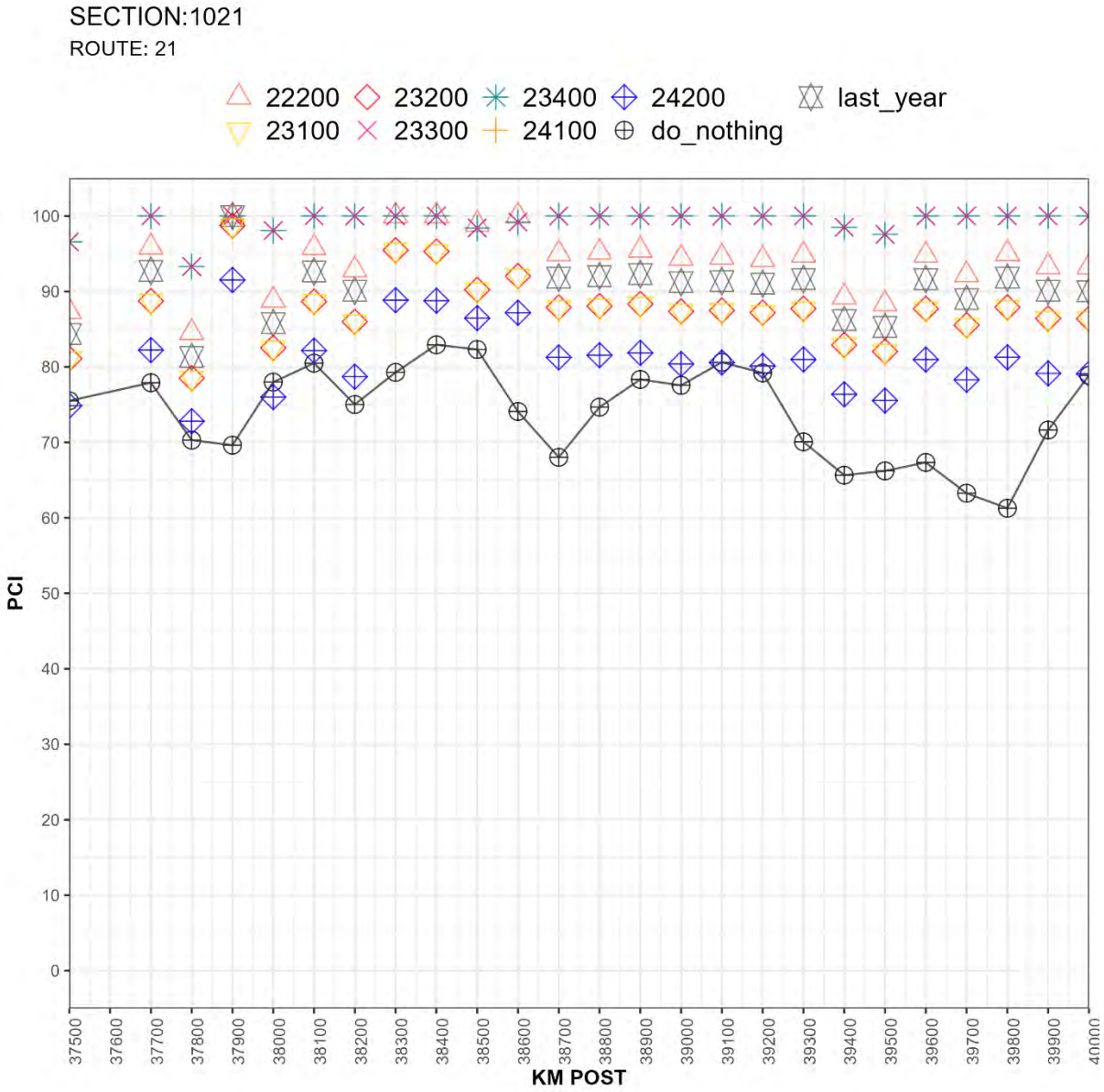
นอกจากนี้ได้ทำการสรุปประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงถนนของแต่ละวิธีเทียบกับการไม่มีการซ่อมบำรุงถนนดังแสดงดังรูปที่ 4-54



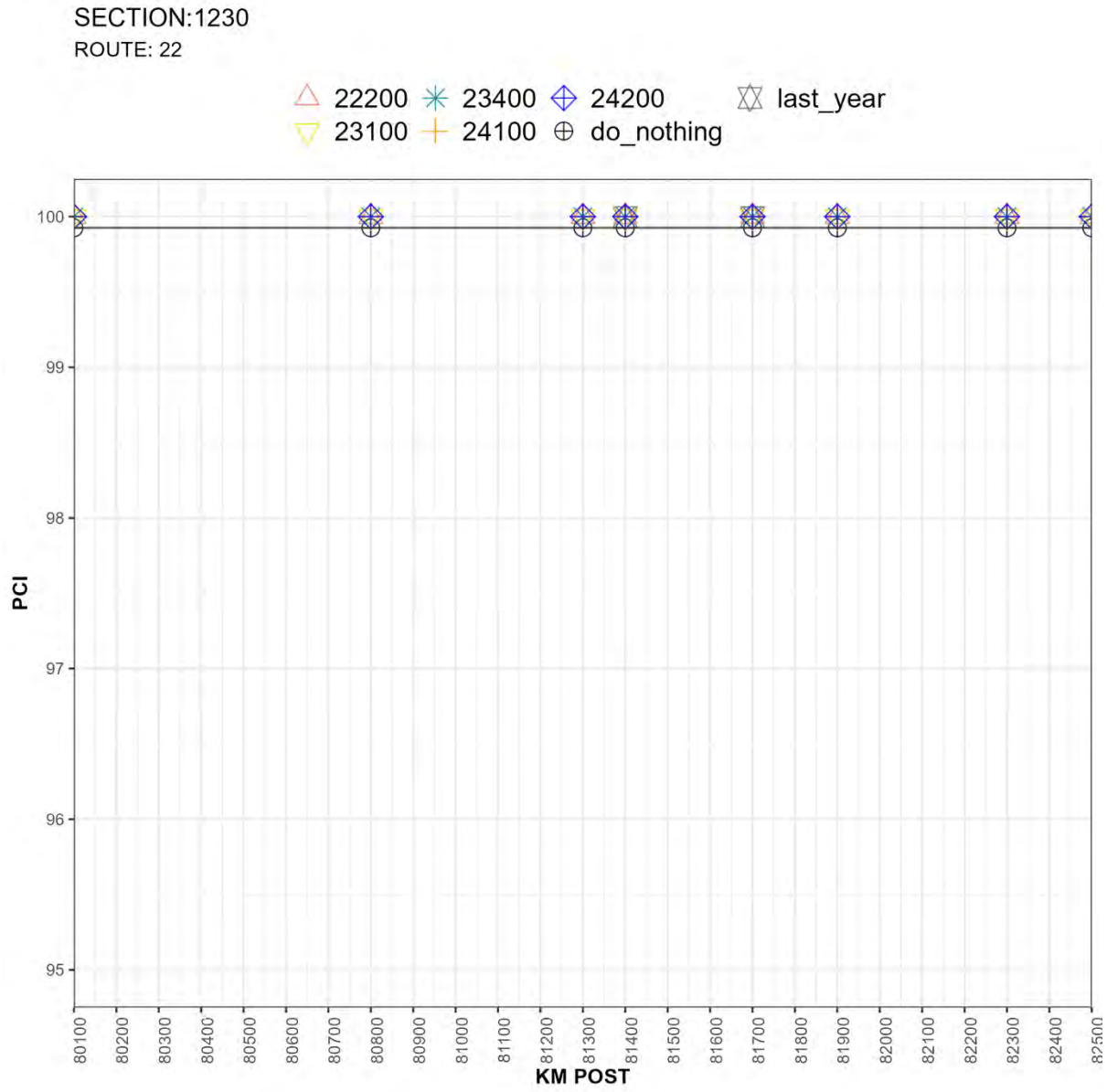
รูปที่ 4-54 ประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงถนนของแต่ละวิธีที่ส่งผลต่อค่า IRI

- **ความเสียหายของผิวทาง (Pavement Condition Index, PCI)**

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการปรับวิธีการซ่อมบำรุงสายทางแสดงดังรูปที่ 4-53 ซึ่งแบบจำลองการคาดการณ์ความเสียหายของถนนของผิวทางลาดยางได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4-55 และแบบจำลองการคาดการณ์ความเสียหายของถนนของผิวทางคอนกรีตได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4-56



รูปที่ 4-55 ผลการเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีของดัชนีความเสียหายของถนนของผิวทางลาดยาง

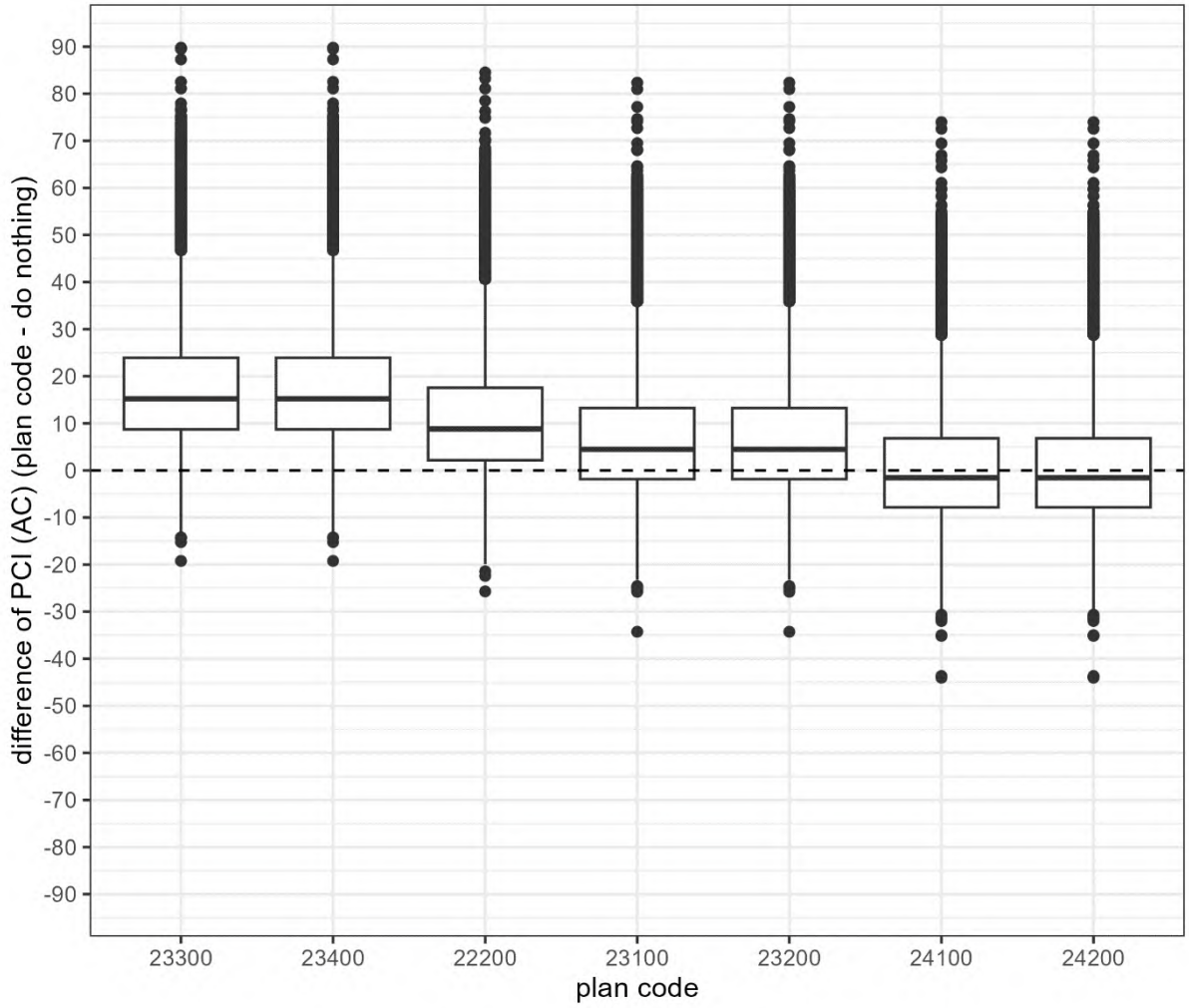


รูปที่ 4-56 ผลการเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีของดัชนีความเสียหายของถนนของผิวทางคอนกรีต

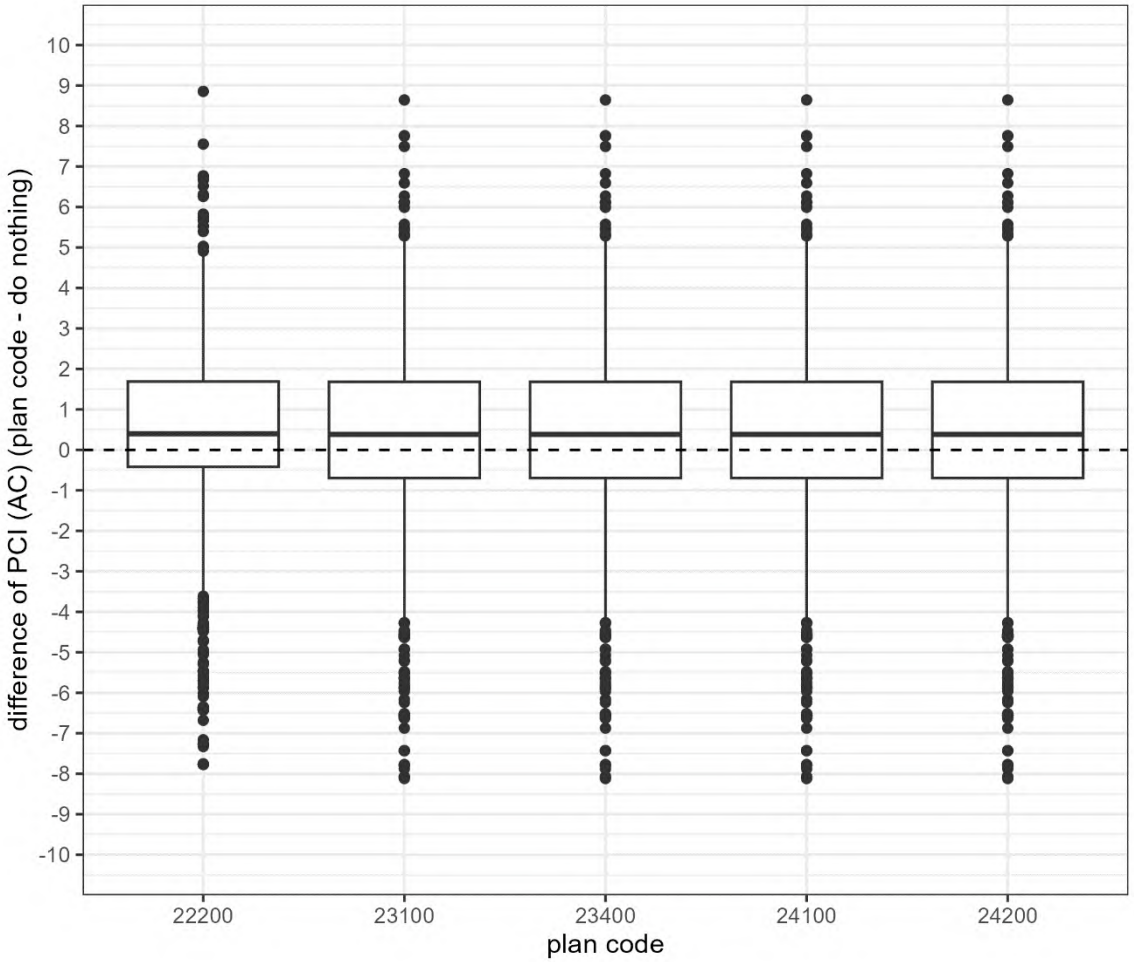
จากตัวอย่างในรูปที่ 4-55 จากการคาดการณ์ของแบบจำลอง ถ้าไม่มีการซ่อมบำรุงผิวทางในปีถัดไป ค่า PCI จะลดลงร้อยละเฉลี่ย 13.77 จากปีก่อนหน้า และวิธีการซ่อมบำรุงสายทาง 3 ลำดับแรกที่ช่วยทำให้ค่า PCI มีค่าสูงขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีค่า PCI ในอนาคตที่ไม่มีงานซ่อมบำรุงสายทาง ได้แก่ รหัสงาน 23300 และรหัสงาน 23400 จะทำให้ค่า PCI เพิ่มขึ้นร้อยละเฉลี่ย 21.08 และรหัสงาน 22200 จะทำให้ค่า PCI ลดลงร้อยละเฉลี่ย 16.47

จากตัวอย่างในรูปที่ 4-56 จากการคาดการณ์ของแบบจำลอง ถ้าไม่มีการซ่อมบำรุงผิวทางในปีถัดไป ค่า PCI จะลดลงร้อยละเฉลี่ย 0.07 จากปีก่อนหน้า และวิธีการซ่อมบำรุงสายทางทุกวิธีทำให้ค่า PCI เพิ่มขึ้นเท่า ๆ กัน

นอกจากนี้ได้ทำการสรุปประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงถนนของแต่ละวิธีเทียบกับในกรณีที่ไม่มีการซ่อมบำรุงถนนของผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีต แสดงดังรูปที่ 4-57 และรูปที่ 4-58 ตามลำดับ



รูปที่ 4-57 ประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงถนนของแต่ละวิธีที่ส่งผลต่อค่าความเสียหายผิวทางลาดยาง



รูปที่ 4-58 ประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงถนนของแต่ละวิธีที่ส่งผลต่อค่าความเสียหายผิวทางคอนกรีต

บทที่ 5
งานรายงานผลเพื่อติดตาม และประเมินผลการวิเคราะห์

5.1 งานรายงานผลเพื่อติดตาม และประเมินผลการวิเคราะห์

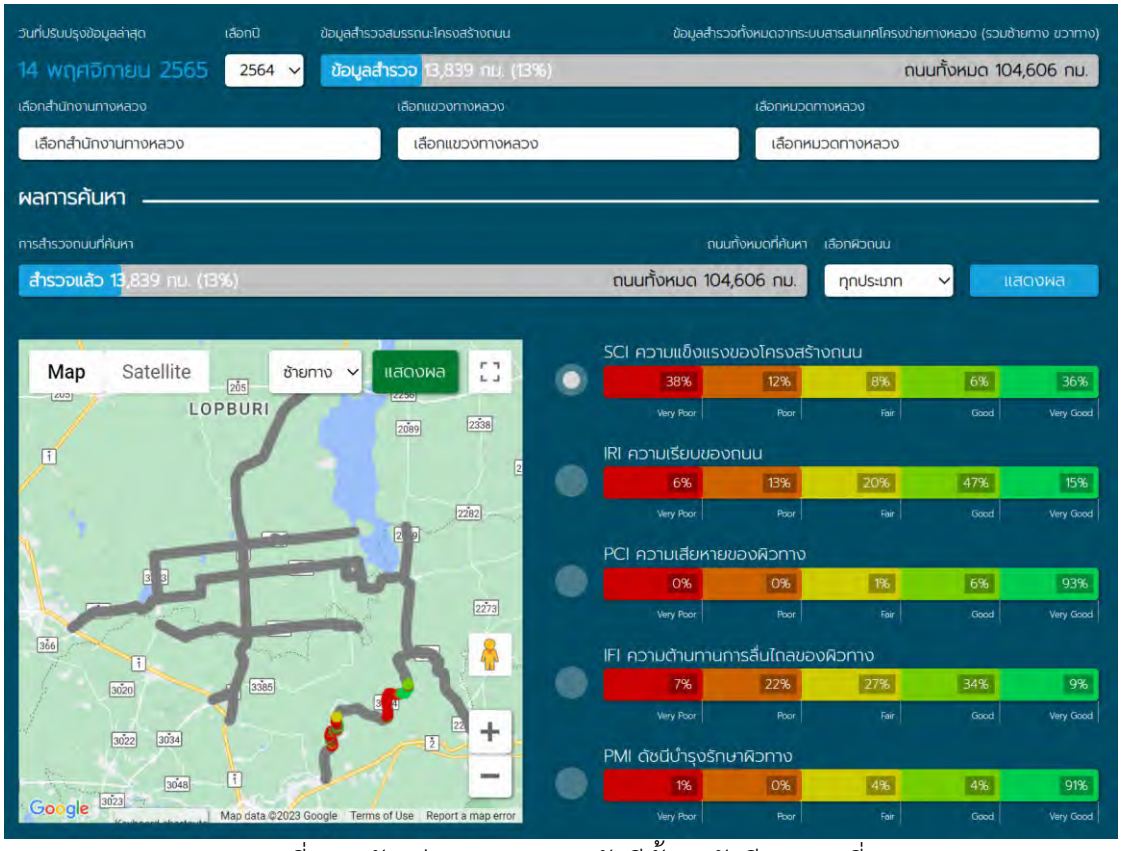
ที่ปรึกษาได้จัดทำรายงานผลเพื่อติดตามและประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะ และประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

5.1.1 แสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะ และประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน

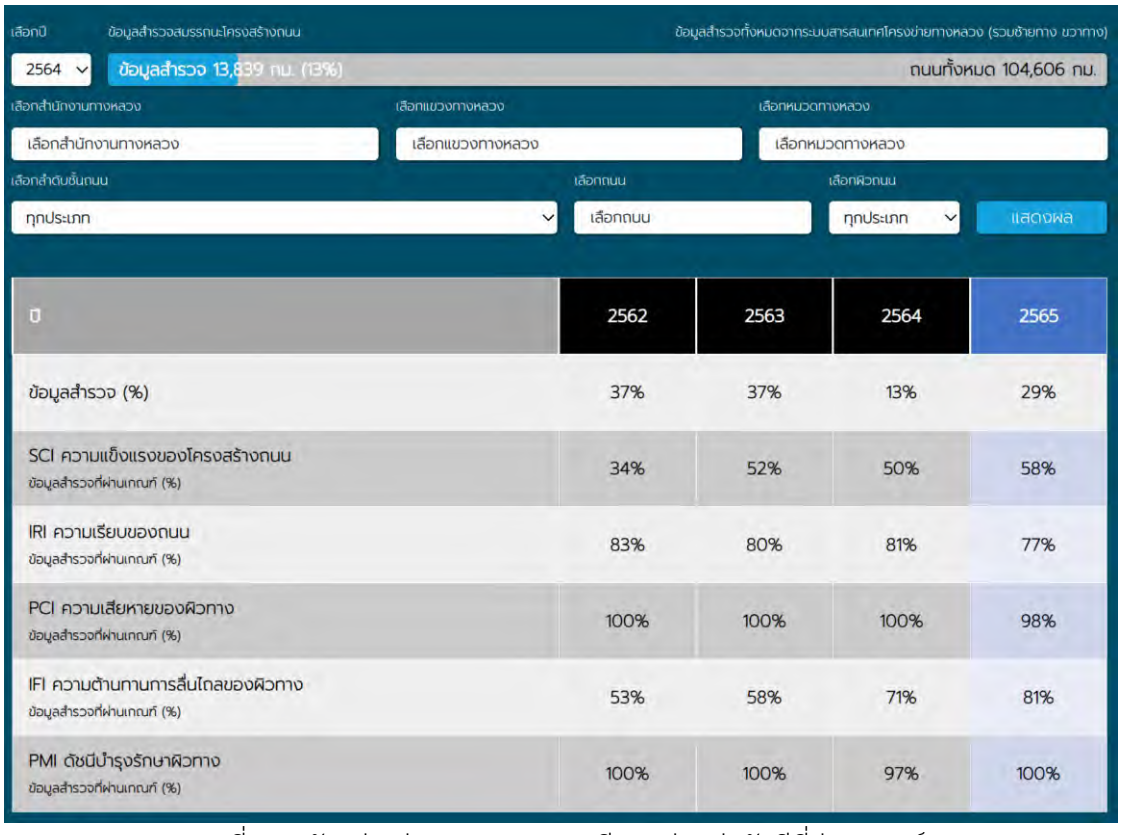
ที่ปรึกษาได้ดำเนินการจัดทำแนวทางการแสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน โดยการแสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน โดยได้ใช้แนวทางการนำเสนอในรูปแบบของหน้าจอสรุป Dashboard ให้ผู้บริหารแต่ละหน่วยงานเพื่อง่ายต่อการเข้ามาใช้งานตามกิจกรรมด้านต่าง ๆ ของทางหลวงในแต่ละภาคส่วนและผู้ปฏิบัติงาน

โดยภาพรวมของระบบการแสดงผลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- ส่วนที่ 1 การแสดงผลภาพรวมของค่าดัชนี (Dashboard)
  - โดยในส่วนนี้ได้แสดงค่าดัชนีทั้ง 5 ดัชนี ได้แก่ ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (SCI) ความเรียบของถนน (IRI) ความเสียหายของผิวทาง (PCI) ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง (IFI) และดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง (PMI) บนแผนที่ ซึ่งสามารถเลือก ปีของข้อมูล สำนักงานทางหลวง แขวงทางหลวง หมวดทางหลวง และประเภทผิวทางลาดยาง หรือผิวทางคอนกรีต และแสดงสัดส่วนช่วงทางที่ผ่านเกณฑ์ แสดงดังรูปที่ 5-1
- ส่วนที่ 2 การแสดงผลตาราง (Table)
  - โดยในส่วนนี้ได้แสดงรายละเอียดแต่ละค่าดัชนีที่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งจะแสดงข้อมูลเป็นหน่วยกิโลเมตร แบ่งตามแต่ละปี โดยสามารถเลือกข้อมูลเพิ่มเติมได้จากส่วนที่ 1 ได้แก่ ลำดับชั้นถนน และชื่อถนน แสดงดังรูปที่ 5-2
- ส่วนที่ 3 การแสดงกราฟ (Graph)
  - โดยในส่วนนี้ที่ใช้แสดงกราฟแต่ละดัชนีตามช่วงตอนควบคุมทุก ๆ 100 เมตร และกราฟภาพรวมของดัชนีแต่ละด้าน แสดงดังรูปที่ 5-3

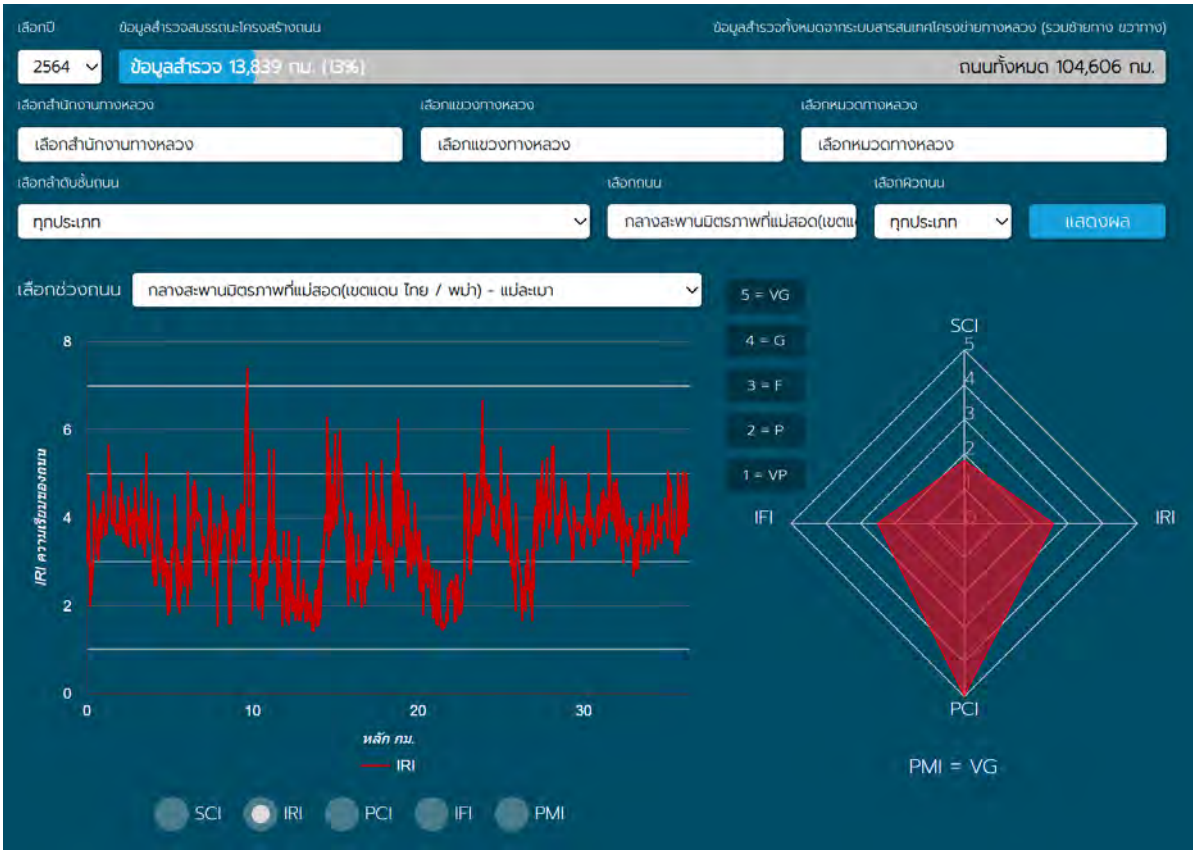


รูปที่ 5-1 ตัวอย่างการแสดงผลดัชนีทั้ง 5 ดัชนีบนแผนที่



ปี	2562	2563	2564	2565
ข้อมูลสำรวจ (%)	37%	37%	13%	29%
SCI ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	34%	52%	50%	58%
IRI ความเรียบของถนน ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	83%	80%	81%	77%
PCI ความเสียหายของผิวทาง ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	100%	100%	100%	98%
IFI ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	53%	58%	71%	81%
PMI ดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	100%	100%	97%	100%

รูปที่ 5-2 ตัวอย่างส่วนตารางรายละเอียดแต่ละค่าดัชนีที่ผ่านเกณฑ์



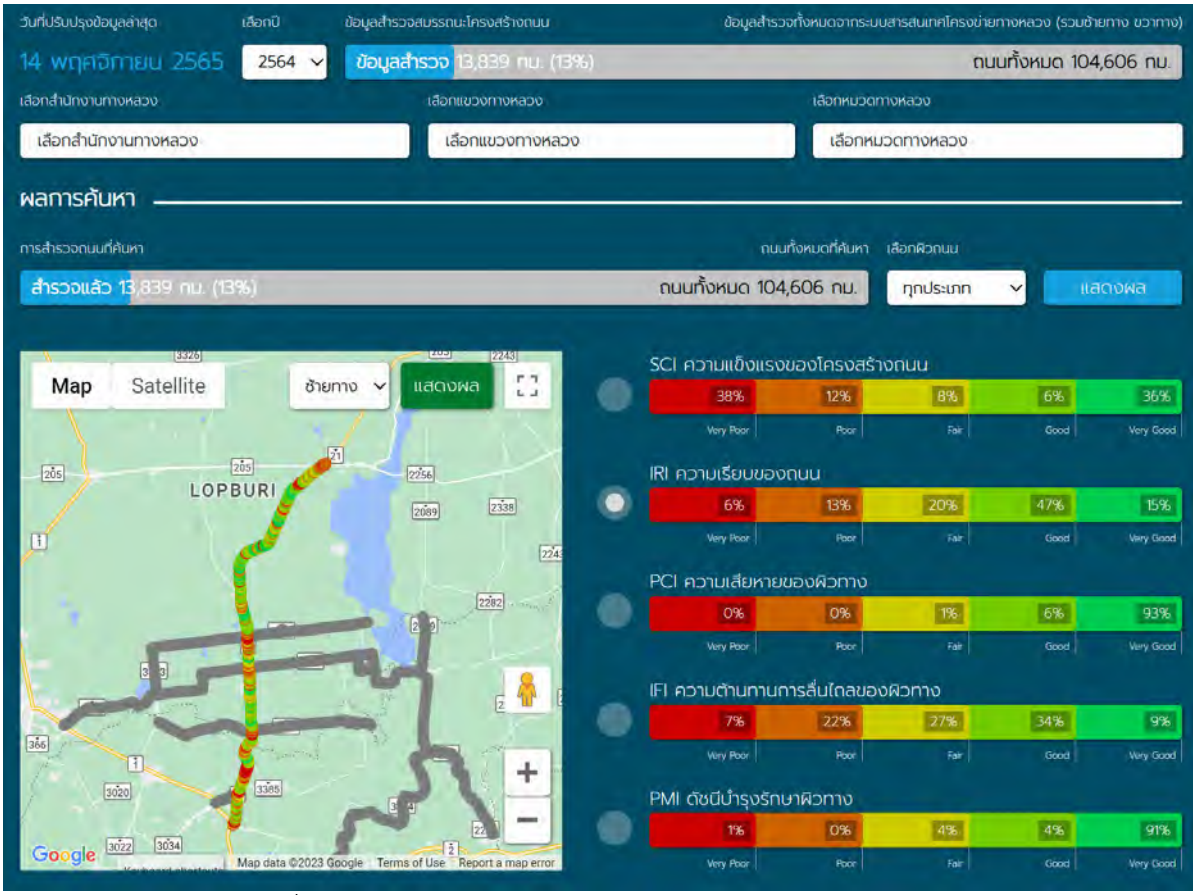
รูปที่ 5-3 ตัวอย่างส่วนกราฟที่ใช้แสดงรายละเอียดคาดการณ์ของแต่ละดัชนี

5.1.2 รายงานผลเพื่อติดตามและประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะ และประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน

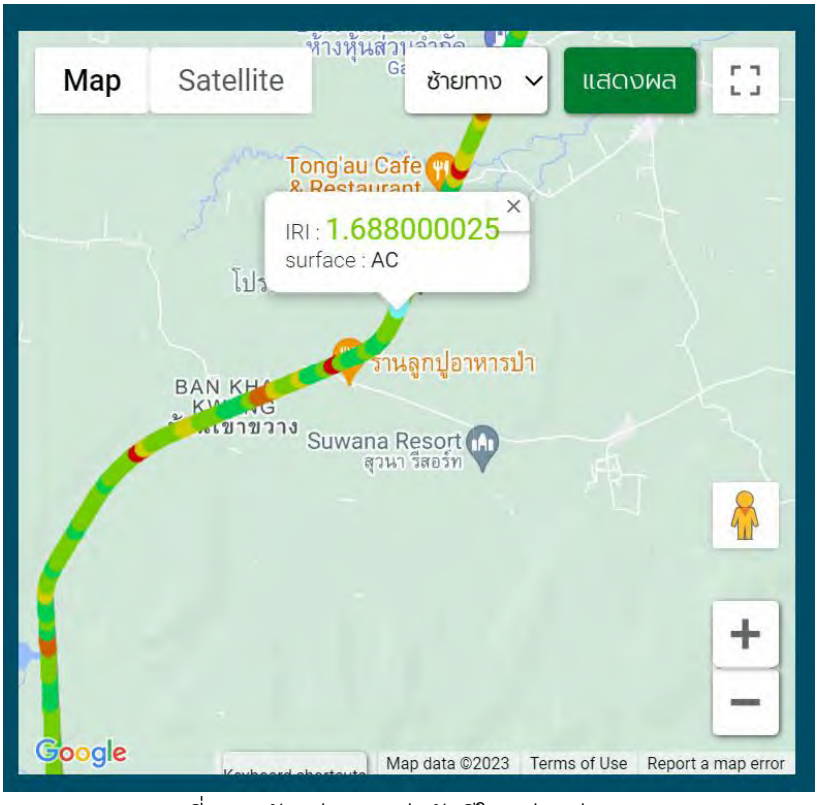
จากการดำเนินการจัดทำแนวทางแสดงผลการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน ทางที่ปรึกษาได้จัดทำรายงาน เพื่อติดตามและประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนนในรูปแบบของ Dashboard เพื่อการนำไปใช้งานตามภารกิจด้านต่าง ๆ ของกรมทางหลวง

หน้าเว็บส่วน Dashboard แสดงข้อมูลสัดส่วนของดัชนีชี้วัดทั้ง 5 ตัวที่ใช้ในโครงการนี้ คือ SCI, IRI ข้อมูลดัชนีทั้งโครงการในปีที่เลือก และกระบวนการสำรวจข้อมูลโดยรวมซึ่งประกอบด้วยข้อมูลของปี 2019, 2020, 2021 และปี 2022 และสามารถ Drill Down ลงไปยังสำนักงานทางหลวง, แขวงทางหลวง และหมวดทางหลวงได้ แสดงดังรูปที่ 5-4

ในส่วนของการ, PCI , IFI , PMI โดยแสดงเป็นเลขร้อยละของแต่ละระดับเรียงจากแย่มาก (Very Poor), แย่ (Poor), ปานกลาง (Fair), ดี (Good) และดีมาก (Very Good) โดยค่าที่นำมาแสดงจะประเมินมาจากการแสดงผลแผนที่เส้นสีประกอบตามดัชนีที่และตามหน่วยงานที่เลือกไว้ ซึ่งสามารถ Pan และ Zoom เข้าไปเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกดัชนีได้ในทุก ๆ 100 เมตร แสดงดังรูปที่ 5-5



รูปที่ 5-4 ตัวอย่างการแสดงผลรายงานในรูปแบบ Dashboard

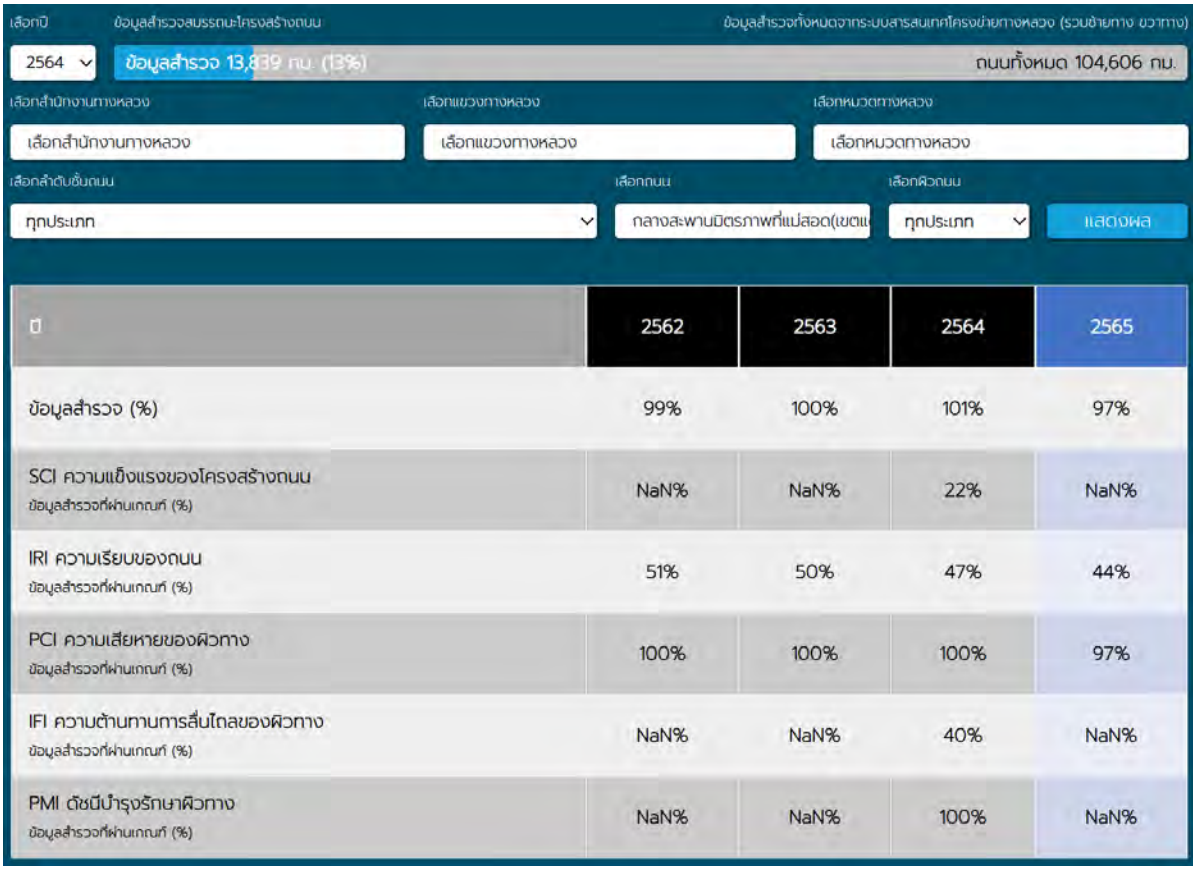


รูปที่ 5-5 ตัวอย่างการค่าดัชนีในแต่ละช่วงถนน

5.1.3 เพื่อช่วยในการตัดสินใจ (Decision Making) ด้านการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินผลวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน ในระดับปฏิบัติการ (Operation Level)

ทั้งนี้ การพัฒนารายงานผล เพื่อติดตามและประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน ได้ดำเนินการเพื่อช่วยในการตัดสินใจ (Decision Making) ด้านการวิเคราะห์สมรรถนะ และประเมินผลวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน ในระดับปฏิบัติการ (Operation Level) ในภารกิจด้านต่าง ๆ ของกรมทางหลวง

โดยในส่วนหน้าเว็บส่วนตารางแสดงข้อมูลตัวเลข ถนนที่ผ่านเกณฑ์และถนนที่สำรวจในรูปแบบของระยะทางหน่วยเป็น กิโลเมตร เพื่อให้เจ้าหน้าที่ในระดับผู้ปฏิบัติการสามารถวิเคราะห์ถนนในแต่ละเส้นช่วยในการตัดสินใจในการเลือกวางแผนการซ่อมบำรุงถนน แสดงดังรูปที่ 5-6



ปี	2562	2563	2564	2565
ข้อมูลสำรวจ (%)	99%	100%	101%	97%
SCI ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	NaN%	NaN%	22%	NaN%
IRI ความเรียบของถนน ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	51%	50%	47%	44%
PCI ความเสียหายของผิวทาง ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	100%	100%	100%	97%
IFI ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	NaN%	NaN%	40%	NaN%
PMI ดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	NaN%	NaN%	100%	NaN%

รูปที่ 5-6 ตัวอย่างการแสดงผลถนนที่ผ่านเกณฑ์และถนนที่สำรวจ

นอกจากนี้ ที่ปรึกษาได้แสดงผลส่วนของหน้าแสดงแผนผังกราฟแสดงรายละเอียดเลขดัชนีที่เลือกในแต่ละช่วงถนนในรูปแบบของแผนภูมิกราฟและคะแนนเฉลี่ยของทั้งเส้นทาง แสดงดังรูปที่ 5-7



รูปที่ 5-7 ตัวอย่างแสดงผลส่วนของหน้าแสดงแผนผังกราฟ

5.2 การคำนวณดัชนี PMI

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการกำหนดค่าดัชนีขึ้นจากวิธีการวิเคราะห์สมรรถนะของโครงสร้างถนน เพื่อนำมาใช้ในการประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะ โดยเรียกว่า ดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง (Performance Maintenance Index) เป็นการคำนวณค่าดัชนีสมรรถนะของโครงสร้างถนนของถนนที่สำรวจกับค่าน้ำหนักสำคัญและเกณฑ์ระดับคุณภาพของดัชนีชี้วัดแต่ละด้านที่ได้จากหัวข้อที่ 4.1.1 - 4.1.2 โดยสามารถคำนวณค่าดัชนีบำรุงรักษาผิวทางได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$PMI = W_{AHP} \otimes Fuzzy\ set_{norm}$$

$$PMI = (W_{SCI}, W_{IRI}, W_{PCI}, W_{IFI})$$

$$\otimes$$

$$\begin{pmatrix} Fuzzy\ set_{SCI} = (\mu_{VG}(SCI), \mu_G(SCI), \mu_F(SCI), \mu_P(SCI), \mu_{VP}(SCI)) \\ Fuzzy\ set_{IRI} = (\mu_{VG}(IRI), \mu_G(IRI), \mu_F(IRI), \mu_P(IRI), \mu_{VP}(IRI)) \\ Fuzzy\ set_{PCI} = (\mu_{VG}(PCI), \mu_G(PCI), \mu_F(PCI), \mu_P(PCI), \mu_{VP}(PCI)) \\ Fuzzt\ set_{IFI} = (\mu_{VG}(IFI), \mu_G(IFI), \mu_F(IFI), \mu_P(IFI), \mu_{VP}(IFI)) \end{pmatrix}$$

โดยที่ $\boldsymbol{W_{AHP}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญของดัชนีสมรรถนะของโครงสร้างถนน

$\boldsymbol{W_{SCI}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญด้านความแข็งแรงของโครงสร้างถนน

$\boldsymbol{W_{IRI}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญด้านความเรียบของผิวทาง

$\boldsymbol{W_{PCI}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญด้านความเสียหายของผิวทาง

$\boldsymbol{W_{IFI}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญด้านความต้านทานการลื่นไถล

$\boldsymbol{Fuzzy\ set}$ คือ เซตความเป็นสมาชิกของดัชนีสมรรถนะของโครงสร้างถนน

$\boldsymbol{\mu_{VG}}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพดีมาก (Very Good)

$\boldsymbol{\mu_{G}}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพดี (Good)

$\boldsymbol{\mu_{F}}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพปานกลาง (Fair)

$\boldsymbol{\mu_{P}}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพแย่ (Poor)

$\boldsymbol{\mu_{VP}}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพแย่มาก (Very Poor)

เมื่อได้เซตค่าความเป็นสมาชิกของ PMI จากสมการข้างต้นแล้วจะสามารถหาระดับคุณภาพของถนนได้จากการอ่านค่าความเป็นสมาชิก ($\boldsymbol{\mu}$) ที่ได้ โดยระดับคุณภาพของถนนเส้นนั้น ๆ จะมีระดับคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ระดับที่มีค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพมากที่สุด แสดงตัวอย่างดังต่อไปนี้

ตัวอย่างผลการคำนวณเซตค่าความเป็นสมาชิกของดัชนีบำรุงรักษาผิวทางของถนนลาดยาง

$$Fuzzy\ set_{PMI} = (\mu_{VG}, \mu_G, \mu_F, \mu_P, \mu_{VP})$$

$$Fuzzy\ set_{PMI} = (0.6082, 0.0942, 0.0906, 0.1513, 0.0556)$$

จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่าค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพดีมาก (Very Good) ของถนนเส้นนี้มีค่ามากที่สุด จึงสามารถสรุปได้ว่าถนนเส้นนี้อยู่ใน*เกณฑ์ระดับคุณภาพดีมาก*

สำหรับการคำนวณค่าดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง หรือ PMI สามารถคำนวณได้จากการนำค่าความเป็นสมาชิกในแต่ละระดับคุณภาพไปคำนวณคะแนน โดยมีคะแนนตั้งแต่ 1 - 5 (โดย 5 หมายถึง ค่าคะแนนของระดับคุณภาพดีมาก) ที่ผ่านการ Normalize แล้วจะได้ค่า PMI แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$Fuzzy\ set_{PMI} = (0.6082, 0.0942, 0.0906, 0.1513, 0.0556)$$

$$\otimes$$

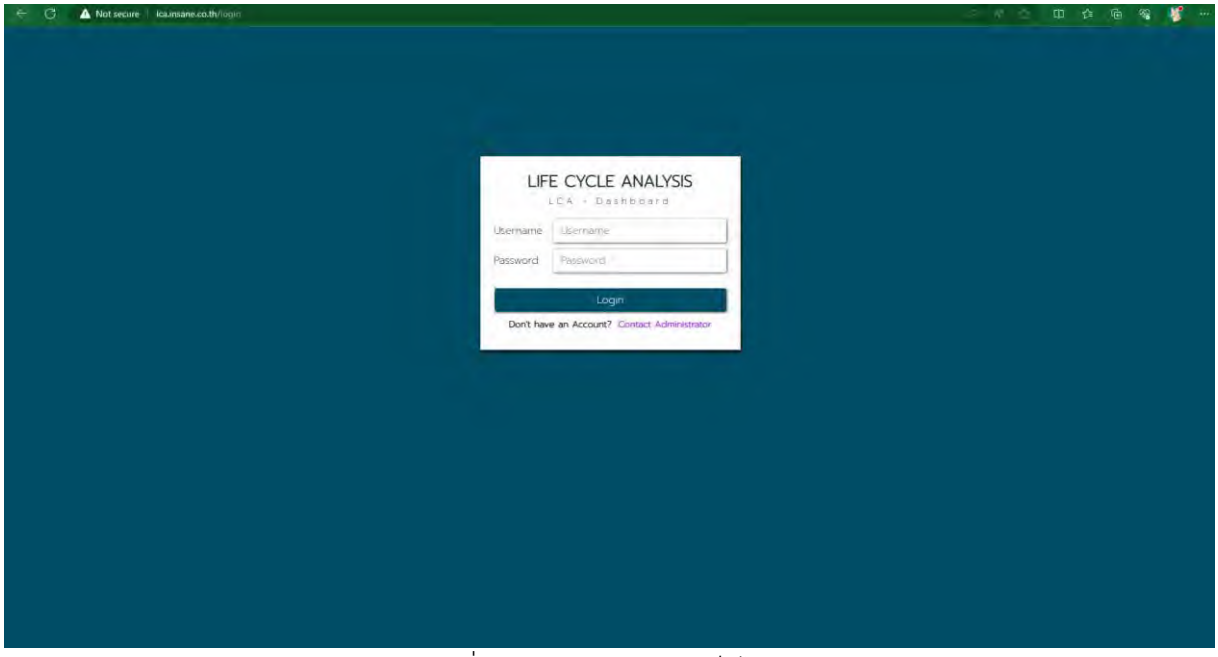
$$Fuzzy\ set_{score} = (0.3333, 0.2667, 0.2000, 0.1333, 0.0667)$$

$$PMI = 0.2699$$

5.3 คู่มือการใช้งานหน้าเว็บเพื่อติดตามและประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนน (Life Cycle Analysis)

5.3.1 การเข้าชมหน้าเว็บไซต์

สามารถเข้าสู่ระบบได้ด้วยการกรอก Username และ Password



รูปที่ 5-8 การเข้าชมหน้าเว็บไซต์

5.3.2 หน้าเว็บสำหรับแสดงข้อมูล (Life Cycle Analysis)

ประกอบด้วยหน้าเว็บไซต์ทั้งหมด 3 หน้าด้วยกัน คือ

- **หน้า Dashboard**

  แสดงภาพรวมข้อมูลสรุป สัดส่วนของการแบ่งระดับดัชนีชี้วัดของถนน พร้อมแผนที่

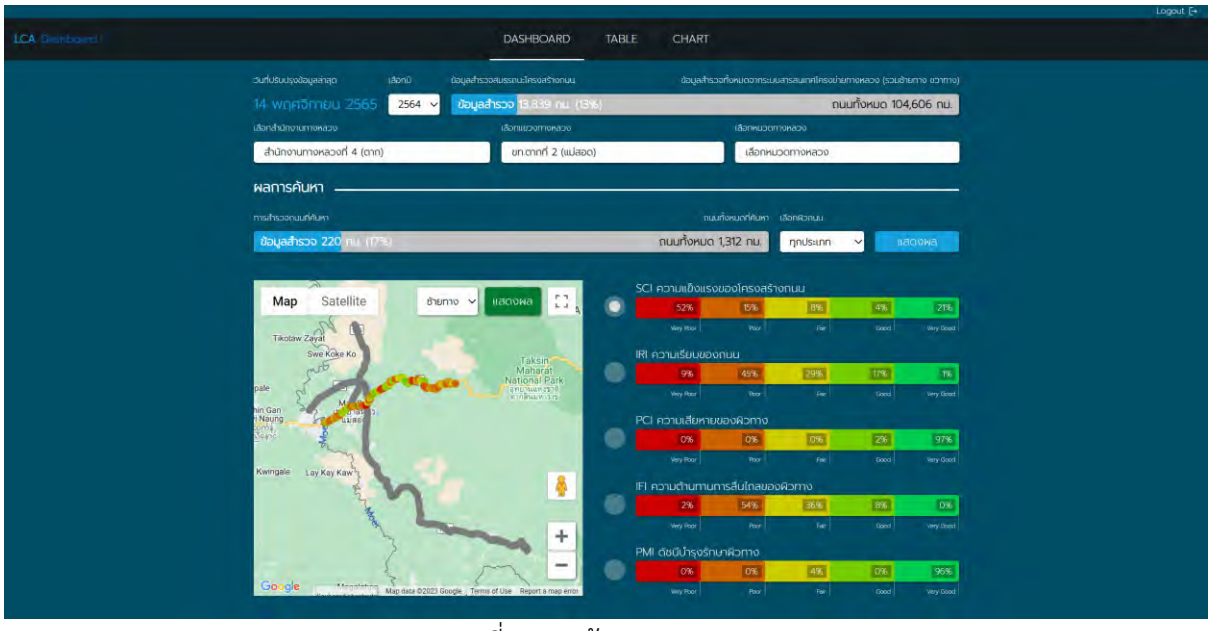
- **หน้า Table**

  แสดงข้อมูลรายละเอียดของถนนผลรวมระยะทางของถนนที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ในแต่ละดัชนีชี้วัดของตัวถนน

- **หน้า Graph**

  แสดงข้อมูลตัวเลขของดัชนีชี้วัดถนนในรูปแบบเส้นตามหลักกิโลเมตรและค่าเฉลี่ยของดัชนีชี้วัดในแต่ละด้าน

5.3.3 หน้า Dashboard



รูปที่ 5-9 หน้า Dashboard

สำหรับในหน้า Dashboard จะมีส่วนของ Filter หลักเพื่อใช้ในการเลือกแสดงผลข้อมูล คือ ปีข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 2019 ถึงปี ค.ศ. 2022 และสถานะการสำรวจข้อมูลทั้งหมดของปีนั้น ๆ ในรูปแบบจำนวนถนนและสัดส่วนร้อยละ



รูปที่ 5-10 Filter หน่วยงาน

ส่วนถัดไปได้แก่ Filter หน่วยงานในลักษณะ Drilldown ตามลำดับคือ สำหนักงานทางหลวง แขวงทางหลวง และหมวดทางหลวง ซึ่งเป็น filter ที่เลือกที่จะกรองข้อมูลที่ต้องการดูทั้งหมดได้



รูปที่ 5-11 Filter ปี และหน่วยงาน

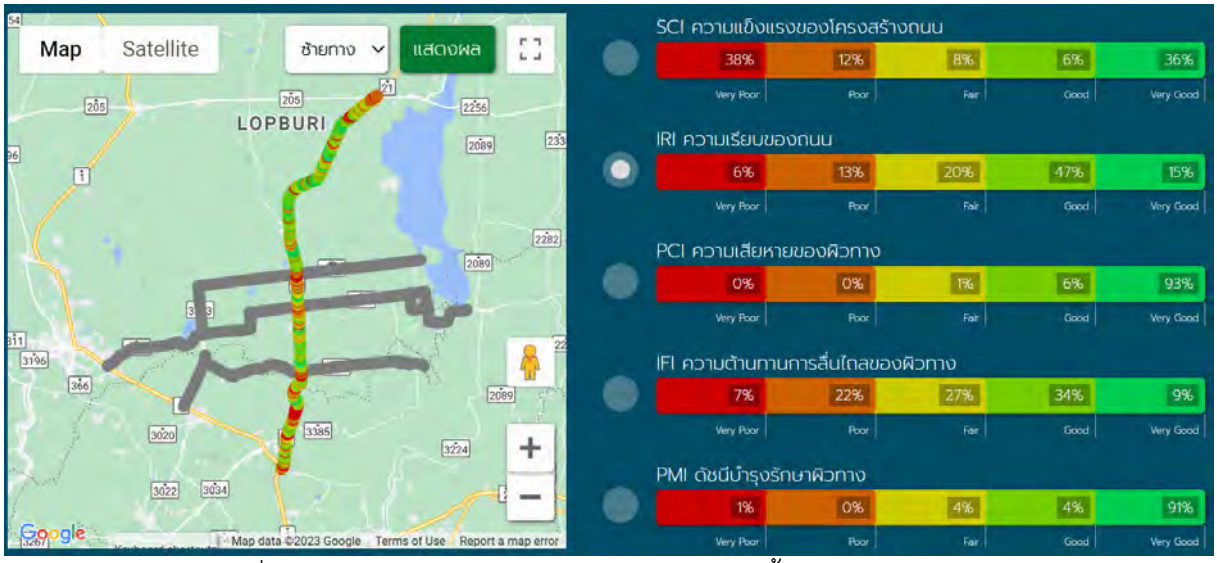
สำหรับ filter ทั้ง 2 ชุดนี้ คือ ปี และหน่วยงาน จะมีแสดงในทุกหน้าเหมือนกัน ซึ่งหลังจากเลือก filter หลักสำหรับผลลัพธ์การ filter จะแสดงสถานะการสำรวจข้อมูลของผลัพธ์ที่กรองมาอีกขั้น และแสดงข้อมูลในรูปแบบแผนที่เส้นสี และตัวเลขสัดส่วนการแบ่งระดับเกณฑ์ของดัชนีชี้วัดของถนน



รูปที่ 5-12 ผลลัพธ์การ Filter

ข้อมูลเส้นสีที่แสดงบนแผนที่ สามารถเลือกแสดงจาก check box ของดัชนีชี้วัดถนนทางด้านขวา ซึ่งมีเฉดสีที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย

- SCI ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน
- IRI ความเรียบของถนน
- PCI ความเสียหายของผิวทาง
- IFI ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง
- PMI ดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง



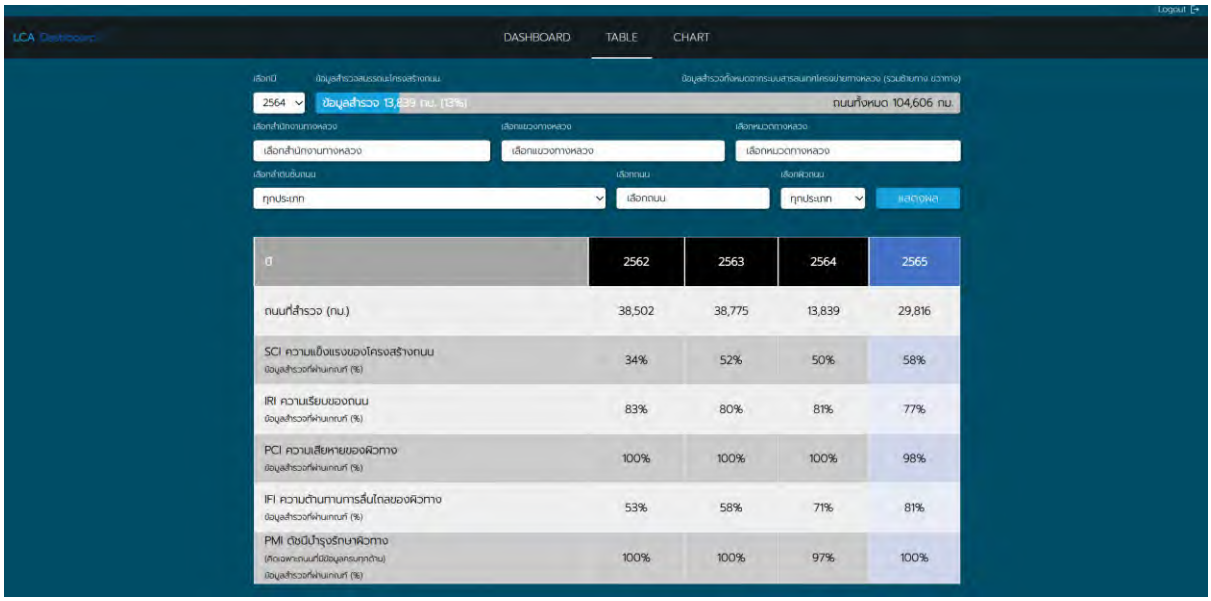
รูปที่ 5-13 แสดงข้อมูลการแบ่งเกณฑ์ของแต่ละดัชนีจะแบ่งเป็น 5 ระดับ

ข้อมูลการแบ่งเกณฑ์ของแต่ละดัชนีจะแบ่งเป็น 5 ระดับคือ

- Very Poor
- Poor
- Fair
- Good
- Very Good

โดยข้อมูลดัชนีที่ถูกแบ่งตามเกณฑ์จะแสดงผลในรูปแบบของสัดส่วนร้อยละ

5.3.4 หน้า Table



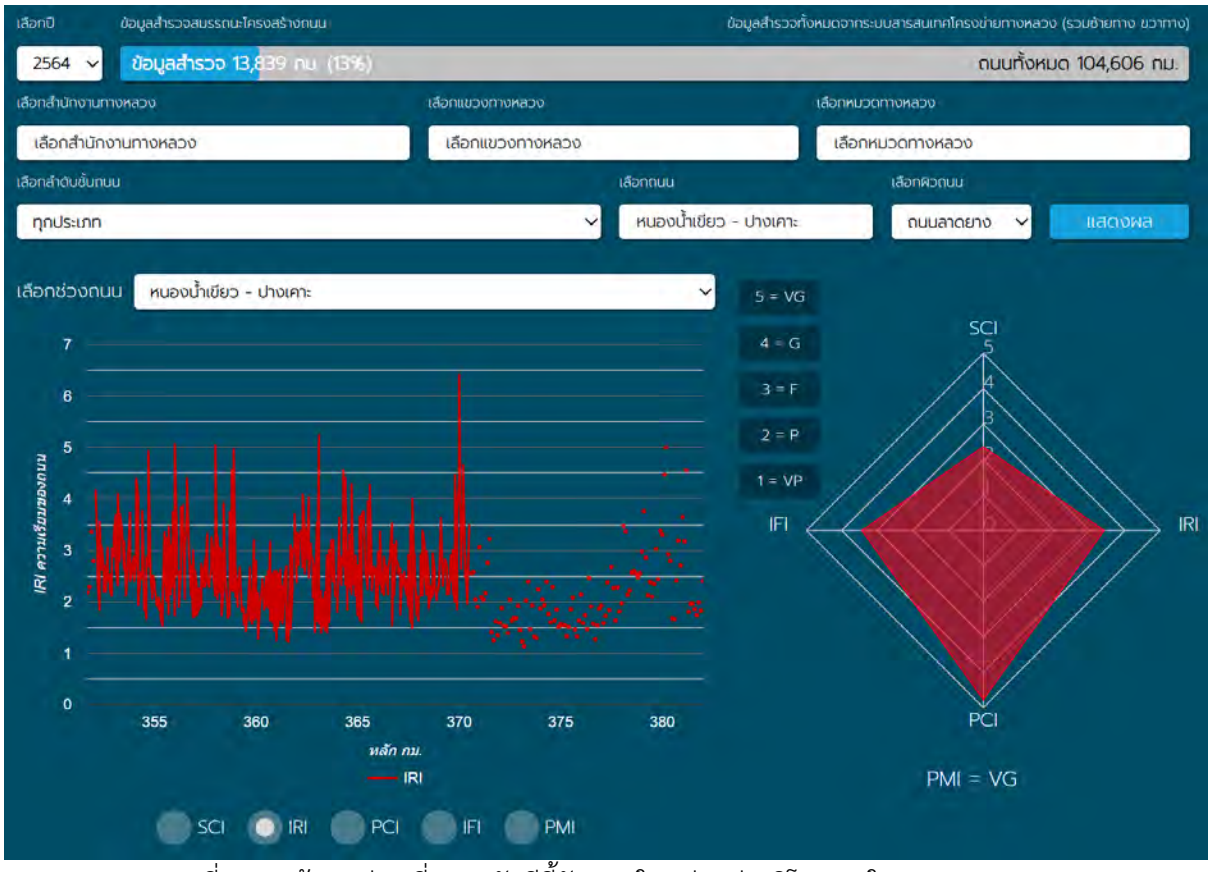
รูปที่ 5-14 หน้า Table

สำหรับในหน้า Table จะเป็นการแสดงรายละเอียดข้อมูลของถนนที่เลือกจาก filter ลำดับชั้นถนน (hierarchy) ประเภทพื้นผิวถนน และชื่อถนน โดยนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางแสดงข้อมูลระยะทาง (กิโลเมตร) การผ่านเกณฑ์ของดัชนีชี้วัดถนนทั้ง 5 ดัชนีเปรียบเทียบให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปี

ปี	2562	2563	2564	2565
ถนนที่สำรวจ (กม.)	38,502	38,775	13,839	29,816
SCI ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	34%	52%	50%	58%
IRI ความเรียบของถนน ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	83%	80%	81%	77%
PCI ความเสียหายของผิวทาง ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	100%	100%	100%	98%
IFI ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	53%	58%	71%	81%
PMI ดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง (คิดเฉพาะถนนที่มีข้อมูลครบทุกด้าน) ข้อมูลสำรวจที่ผ่านเกณฑ์ (%)	100%	100%	97%	100%

รูปที่ 5-15 รายละเอียดข้อมูลของถนน

5.3.5 หน้า Graph



รูปที่ 5-16 ข้อมูลค่าเฉลี่ยของดัชนีชี้วัดถนนในแต่ละช่วงกิโลเมตรในรูปแบบกราฟ

ในหน้า Graph จะแสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยของดัชนีชี้วัดถนนในแต่ละช่วงกิโลเมตรในรูปแบบกราฟ โดยต้องเลือกถนนตาม filter ลำดับชั้น (hierarchy) ประเภทพื้นผิวถนน และชื่อถนน นอกจากนั้นจะแสดงค่าเฉลี่ยของดัชนีโดยรวมของถนน

5.4 งานจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์

5.4.1 บทวีดิทัศน์

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการจัดทำบทวีดิทัศน์ โดยแบ่งเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

- ที่มาและความสำคัญ (ประมาณ 0.5 นาที)
  กล่าวถึงที่มาและความสำคัญ เน้นในส่วนผลลัพธ์ของโครงการ และภาพรวมของโครงการ
  - นำเนื้อความจากบทนำบางส่วนมาสรุป โดยกล่าวถึงหน่วยงานกรมทางหลวงเพียงสั้น ๆ ว่าดูแลอะไร และกำลังดำเนินการอะไรอยู่ โดยจะต้องชักนำเข้าสู่วัตถุประสงค์ของโครงการ
  - เน้นประเด็นเรื่องยุคสมัยของเทคโนโลยี Machine Learning เพื่อนำเข้าสู่วัตถุประสงค์ของโครงการที่ต้องการเทคโนโลยี Machine Learning มาช่วยใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับงานซ่อมบำรุงทาง และวางแผนงบประมาณ
- ขั้นตอนการดำเนินโครงการ (ประมาณ 2 นาที)
  - แนะนำให้เห็นว่ามีการบูรณาการระบบอะไรบ้าง มีการสำรวจอะไรเพิ่มเติมเพื่อนำมาตรวจสอบความถูกต้องของโมเดล
    - ระบบฐานข้อมูลงานวิเคราะห์ตรวจสอบสภาพทางหลวง (MIIS)
    - ระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet)
    - ระบบฐานข้อมูลสมรรถนะทางหลวง (iPAVEs)
    - ระบบสารสนเทศอุบัติเหตุบนทางหลวง (HAIMS)
    - ระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS)
    - ระบบบริหารแผนงานทางหลวง (Plannet)
    - ข้อมูลสำรวจ อธิบาย สายทางที่สำรวจ จำนวนของการสำรวจ
  - อธิบายขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูล โดยกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในกระบวนการนี้ เช่น
    - ด้านความเหมาะสมของจำนวนข้อมูลจากในระบบฐานข้อมูล และการสำรวจแยกประเภทตามพื้นผิวจราจร
    - ด้านการกระจายตัวของข้อมูลเชิงเวลา และเชิงพื้นที่
    - ด้านความถูกต้อง และความผิดปกติของข้อมูลโดยวิธี Mahalanobis Distance
  - กล่าวถึงค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการป้อนค่าให้ระบบ Machine Learning ได้เรียนรู้ความสัมพันธ์ และแนวทางการตัดสินใจของมนุษย์ ได้แก่ ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (SCI) ความเรียบของถนน (IRI) ความเสียหายของผิวทาง (Distress) และการลื่นไถลของผิวทาง (IFI) โดยนำมาวิเคราะห์ร่วมกับค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักจากการทำแบบสอบถาม AHP เพื่อใช้ในการให้น้ำหนักความเร่งด่วนสำหรับการซ่อมบำรุง

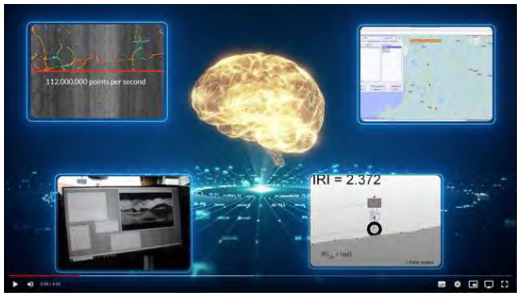
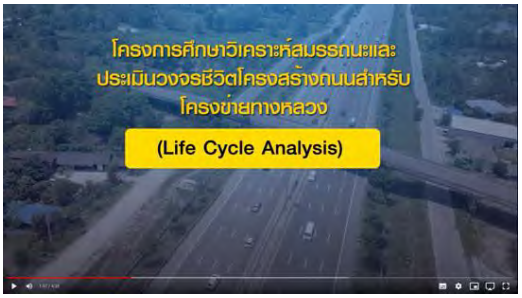
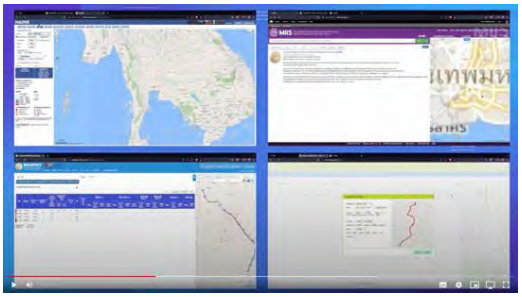
- ผลลัพธ์ของโครงการ (ประมาณ 1.5 นาที)
  - กล่าวถึงสิ่งที่ Machine Learning จะแสดงออกมา ได้แก่ ผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ ผลการวิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง และกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุง โดย 3 อย่างนี้ต้องอธิบายให้เข้าใจง่ายและชัดเจน ได้แก่
    - ผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ คือ การทำนายการเสื่อมสภาพของถนน ซึ่งจะได้ค่าดัชนีต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตเมื่อถนนมีการใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง
    - วิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง คือ การทำนายค่าดัชนีต่าง ๆ ที่คาดว่าจะกลับมาดีขึ้นหลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีต่าง ๆ
    - กำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุง คือ การสร้างเกณฑ์ของค่าดัชนีต่าง ๆ ขึ้นมาจากการวิเคราะห์ความเหมาะสมด้วยกระบวนการ Machine Learning
    - กล่าวถึงการนำความสามารถของเทคโนโลยีไปใช้ในด้านต่าง ๆ ตามจุดประสงค์ของโครงการ โดยชี้ให้เห็นว่าสิ่งที่ Machine Learning นั้น แสดงออกมาจะสามารถนำไปต่อยอดให้เกิดอะไรขึ้นได้บ้าง
    - สร้างเกณฑ์ PMI ผ่านการบูรณาการข้อมูลร่วมกับแบบสัมภาษณ์ AHP โดยเกณฑ์ PMI จะเป็นค่าดัชนีใหม่ที่ช่วยในการบอกลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุงโดยการรวมค่าดัชนี IRI, IFI, SCI และ PCI เข้าเป็นดัชนีเดียวด้วยการคูณค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากแบบสอบถาม AHP แล้วเรียกดัชนีใหม่นี้ว่า PMI
    - จัดทำหน้า Dashboard แสดงผลของการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพและผลกระทบจากการซ่อมบำรุงผ่านแผนภูมิ หรือกราฟความสัมพันธ์ที่เปรียบเทียบให้เห็นว่าการซ่อมบำรุงด้วยวิธีใดจะส่งผลต่อการลดลงของค่าดัชนีใดและเท่าไหร่บ้าง

จากบทวีดิทัศน์ดังกล่าว ที่ปรึกษาได้ดำเนินการจัดทำลำดับภาพประกอบพร้อมบทบรรยายแสดงดังตารางที่ 5-1

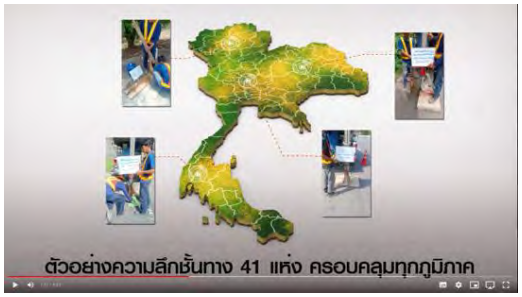
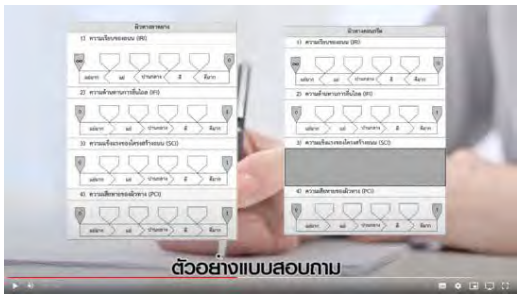
ตารางที่ 5-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์

ลำดับที่	ภาพประกอบการบรรยาย	บทบรรยาย
1		-
2		กรมทางหลวง มีวิสัยทัศน์เพื่อดูแลระบบทางหลวงที่สะดวก ปลอดภัย และเชื่อมโยงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศ
3		ในปัจจุบันกรมทางหลวงมีสายทางในความดูแลมากถึง 1,530 สายทาง คิดเป็นระยะทางกว่า 52,336 กิโลเมตร
4		ซึ่งในแต่ละสายทางนั้น กรมทางหลวงต้องใช้ทรัพยากรบุคคล และงบประมาณในการบูรณะและซ่อมบำรุงอยู่ตลอดเวลา
5		-

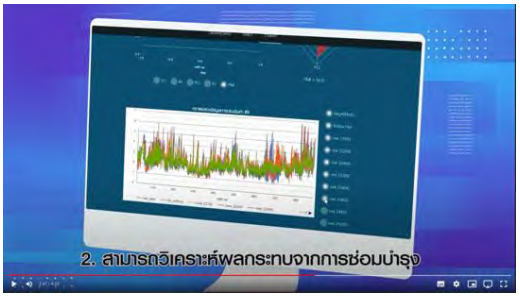
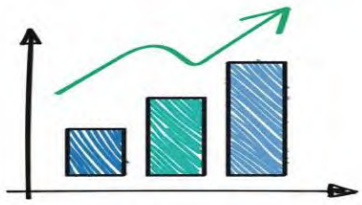
ตารางที่ 5-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพประกอบการบรรยาย	บทบรรยาย
6		ปัจจุบัน วิทยาการคอมพิวเตอร์มีความก้าวหน้าไปอย่างมาก โดยเฉพาะกระบวนการ Machine Learning ที่เริ่มเข้ามามีส่วนช่วยในการตัดสินใจแทนมนุษย์
7		ฉะนั้น การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการ Machine Learning จะช่วยให้การบริหารจัดการด้านงบประมาณของกรมทางหลวง มีความถูกต้อง แม่นยำ และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
8		โครงการศึกษาวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตโครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง (Life Cycle Analysis) จะเป็นหนึ่งในโครงการที่นำความสามารถของเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
9		ในการดำเนินงานนั้น กรมทางหลวงได้บูรณาการข้อมูลที่จำเป็นจากระบบฐานข้อมูลที่มีอยู่แต่เดิม
10		และได้สำรวจข้อมูลภาคสนามเพิ่มเติมอีกกว่า 1,027 กิโลเมตร ทำให้ได้ข้อมูล อันประกอบด้วย

ตารางที่ 5-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพประกอบการบรรยาย	บทบรรยาย
11		ตัวอย่างความลึกชั้นทาง 41 แห่ง ครอบคลุมทุกภูมิภาค
12		- ค่าดัชนีความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (SCI) - ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) - ค่าดัชนีความลึกเฉลี่ยผิวทาง (MPD) - ค่าดัชนีการลื่นไถลของผิวทาง (IFI) - ปริมาณความเสียหายของผิวทาง (Distress) - ค่าดัชนีความเสียหายของผิวทาง (PCI) - อายุผิวทาง และ - ประวัติงานซ่อมบำรุง
13		กระบวนการ Machine Learning นั้น จำเป็นจะต้องใช้ความคิดเห็นของมนุษย์ในการฝึกฝนให้เครื่องสามารถคิด และตัดสินใจแบบมนุษย์ได้ จึงมีการจัดทำแบบสอบถาม AHP โดยมีผู้เชี่ยวชาญกว่า 50 ท่าน เข้าร่วมทำแบบสอบถามในครั้งนี้
14		ผลจากการดำเนินโครงการดังกล่าว ทำให้ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตโครงสร้างถนน ซึ่งมีความสามารถดังนี้
15		1. สามารถวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของโครงสร้างถนน โดยจะทำนายการเสื่อมสภาพของถนนผ่านค่าดัชนีต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตเมื่อถนนมีการใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง

ตารางที่ 5-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพประกอบการบรรยาย	บทบรรยาย
16	 	2. สามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง โดยจะทำนายค่าดัชนีต่าง ๆ ที่คาดว่าจะกลับมาดีขึ้นหลังการซ่อมบำรุง
17		3. สามารถกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุง โดยการสร้างเกณฑ์ของค่าดัชนีต่าง ๆ ขึ้นมาจากการวิเคราะห์ความเหมาะสมด้วยกระบวนการ Machine Learning
18		ด้วยความสามารถของโปรแกรมทั้ง 3 ส่วนนี้จะถูกนำไปใช้ในการจัดทำหน้า Dashboard และค่าดัชนี PMI ในลำดับถัดไป
19		สำหรับค่าดัชนี PMI นั้น เป็นค่าที่เกิดจากผลรวมของค่าดัชนีทั้ง 4 ตัว

ตารางที่ 5-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพประกอบการบรรยาย	บทบรรยาย
20		ประกอบด้วย IRI IFI SCI และ PCI เมื่อคูณด้วยสัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทำแบบสอบถาม AHP แล้ว จะได้ค่าดัชนีใหม่ที่เรียกว่า PMI ซึ่งจะนำมาช่วยจัดลำดับความสำคัญของงานซ่อมบำรุงงานทางต่อไป
21		โดยจากทั้ง 3 หัวข้อที่กล่าวมานั้น จะเป็นการวิเคราะห์แยกตามลำดับชั้นของถนนที่กรมทางหลวงกำหนด เพื่อความสะดวกต่อการนำไปใช้ต่อไป
22		ผลที่ได้จากกการดำเนินโครงการจะสามารถนำไปใช้เพื่อประกอบการพิจารณา ดังนี้ 1. ช่วยจัดลำดับความสำคัญด้านการวางแผนงานซ่อมบำรุง 2. ประกอบการพิจารณาวางแผนด้านงบประมาณประจำปี และ 3. กำหนดรูปแบบทางเลือกวิธีการซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ
23		ทั้งนี้ โครงการดังกล่าว ยังอยู่ในขั้นของการศึกษาทดลอง โดยระบบต่าง ๆ ยังเป็นเพียงต้นแบบที่กรมทางหลวงจะพัฒนาให้สมบูรณ์แบบต่อไป
24		กรมทางหลวงจะไม่หยุดพัฒนา เพื่อต่อยอดไปสู่การสร้างสรรค์นวัตกรรม และเทคโนโลยีใหม่ ๆ ต่อไป

ตารางที่ 5-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพประกอบการบรรยาย	บทบรรยาย
25		-

และทางที่ปรึกษาได้จัดทำวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการแล้วเสร็จ ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 5-17



รูปที่ 5-17 วิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ

บทที่ 6
สรุปผลการดำเนินงานโครงการ

6.1 งานศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ งานศึกษารวบรวมข้อมูล สารสนเทศ จากฐานข้อมูลภายในกรมทางหลวง

ที่ปรึกษา ได้ผลลัพธ์ของการคำนวณ เกณฑ์ และ วิธีสำรวจ ของค่าดัชนีทั้ง4ด้าน เพื่อนำไปใช้ในการวิ่งสำรวจในโครงการ รวมถึงใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิง ให้ผู้เชี่ยวชาญใช้ในการทำแบบสอบถาม AHP ในส่วนของงานรวบรวมข้อมูลสารสนเทศจากฐานข้อมูลภายในของกรมทางหลวงนั้น ที่ปรึกษาสรุปภาพรวมของข้อมูลที่นำไปใช้ต่อในการทำ แบบจำลองวิเคราะห์สมถรรณะและประเมิณวงจรชีวิตของถนน แสดงดังรูปที่ 6-1

	Road Condition															
	MIS										Roadnet				TMS	Planet
	SKID		IFI (deflection)		IRI		RUT		MPD		IRI,RUT,MPD,PavementDistress				AADT	ประวัติการซ่อมบำรุง
											AC		CC			
Years	Count survey (Line)	Length (KM)	Count survey (Line)	Length (KM)	Count survey (Line)	Length (KM)	Count survey (Line)	Length (KM)	Count survey (Line)	Length (KM)	Count survey (Line)	Length (KM)	Count survey (Line)	Length (KM)	Length (KM)	Length (KM)
2550											134800	1438350				
2551																
2552																
2553											65300	513860				
2554											118000	1114061	208800	809064		
2555											564900	408239	700	3838	516091	
2556															516849	
2557					200	5244					313500	230325			516901	
2558	700	7733			13800	189047					553700	404886			517384	
2559	51000	999768	3000	33015	157800	246017	4900	78779	5100	80041					517924	
2560	24200	564417	13000	122089	97100	125135	14300	186275	29600	371773					518206	
2561	9800	117617	23100	252661	107600	128243									518106	
2562	3200	62193	25300	157860	110100	121931					431300	386076	169700	247472	520502	248561
2563	800	7341	14200	125576	10900	191480	900	6540	900	6540	539000	381617	224300	312745	520812	166913
2564	28300	133117	20200	247793	92400	1081865	900	12903	900	15191	205500	137549	124900	168390	521660	172984
2565	13000	60426	39700	265792	102400	136298	44900	66625	44700	66425	451700	264025	265500	402319	523062	204900
2566	2200	13376	2900	12922	18700	206048	11200	126665	11200	126665			400	400		176800

รูปที่ 6-1 แสดงจำนวนข้อมูลในแต่ละปี ของชนิดข้อมูล ในฐานข้อมูล ต่างๆ ของกรมทางหลวง

จากรูปที่ 6-1 พบว่า ข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุง จากระบบ Planet มีค่อนข้างน้อย อาจทำให้การวิเคราะห์แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง มีข้อมูลค่อนข้างน้อย อาจวิเคราะห์ได้ไม่ครบดัชนีทั้ง 4 ด้าน รวมถึงข้อมูล FWD , Skid จากระบบ MIIS ไม่ระบุช่องจราจร ในขณะที่ระบบ Roadnet นั้นมีการระบุช่องจราจร อาจทำให้การวิเคราะห์แบบแบ่งช่องจราจร ไม่สามารถทำได้

6.2 งานคัดเลือกสายทาง และ งานสำรวจภาคสนาม

ที่ปรึกษาทำการคัดเลือกสายทาง เพื่อไปทำการสำรวจภาคสนาม โดยคัดเลือกจาก สายทางที่มีค่าสำรวจย้อนหลังมากที่สุด รวมถึงครอบคลุม ดัชนีครบทั้ง 4 ด้านให้มากที่สุด รวมถึงกระจาย ทั่วประเทศ โดยในงานสำรวจภาคสนามนั้น มีการสำรวจค่า IRI จำนวน 36 สายทาง ระยะทาง 1,027 กิโลเมตร ในส่วนของความเสียหายของผิวทาง จำนวน 36 สายทาง ระยะทาง 1,027 กิโลเมตร และ ความหนาของถนน จำนวน 41 สายทาง 123 จุด เพื่อนำค่าจากการสำรวจภาคสนาม มาเป็นการสอบเทียบแบบจำลอง

6.3 การวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของแต่ละด้านโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติขั้นสูงเคราะห์ตามแนวทางการดำเนินงานของกรมทางหลวง

จากผลการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะโครงสร้างทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน ความเรียบของถนน ความเสียหายของผิวทาง และความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) พบว่า ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 11 ท่าน ให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของความเสียหายของผิวทางมีความสำคัญมากที่สุด โดยมีความสำคัญมากถึงร้อยละ 0.380 และ 0.598 สำหรับผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตตามลำดับ

ความเสียหายของผิวทาง เป็นดัชนีชี้วัดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยสายตา โดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะทางเพื่อสำรวจความเสียหาย ผู้ใช้ทางสามารถมองเห็นการชำรุดของผิวทางได้โดยง่าย เช่น หลุมบ่อ รอยแตก การเยิ้มของผิวทาง และอื่น ๆ โดยการเกิดความเสียหายของผิวทางอาจมีสาเหตุมาจากหลาย ๆ ปัจจัย เช่น การก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐาน การเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสม หรือการใช้งานที่ไม่เหมาะสมของยานพาหนะที่มีน้ำหนักเกินมาตรฐานที่ออกแบบไว้ ด้วยเหตุนี้ ความเสียหายของผิวทาง จึงสามารถสะท้อนสมรรถนะของถนนได้อย่างชัดเจนทั้งในด้านการออกแบบและก่อสร้าง และการใช้งานของผู้ใช้ทาง

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าน้ำหนักสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะโครงสร้างถนนจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 สำนัก ได้แก่ สำนักบริหารบำรุงทาง สำนักแผนงาน สำนักอำนวยความปลอดภัย สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ และสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง พบว่า ค่าน้ำหนักสำคัญของดัชนีชี้วัดของผิวทางลาดยางมีความแตกต่างกันตามภารกิจของแต่ละสำนัก ในขณะที่ค่าน้ำหนักสำคัญของดัชนีชี้วัดของผิวทางคอนกรีตมีความคล้ายคลึงกัน ทั้งนี้ เมื่อนำผลการให้ค่าน้ำหนักของทุกสำนักมารวมกัน และเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักสำคัญที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 11 ท่าน พบว่าลำดับความสำคัญของแต่ละดัชนีมีความสอดคล้องกับผู้เชี่ยวชาญทั้ง 11 ท่าน กล่าวคือ ค่าน้ำหนักความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะโครงสร้างถนนที่มีความสำคัญมากที่สุด ได้แก่ ความเสียหายของผิวทาง

6.4 ประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะ (Performance Analysis) โดยอาศัยข้อมูลที่มีของกรมทางหลวงและข้อมูลที่ได้จากโครงการ

ในส่วนนี้ ที่ปรึกษาได้พัฒนาดัชนีรวมที่สะท้อนถึงสมรรถนะทั้ง 4 ด้านของผิวทาง จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 11 ท่านของกรมทางหลวงในการแบ่งเกณฑ์สมรรถนะด้วยวิธี Fuzzy Logic โดยเรียกดัชนีรวมนี้ว่า ดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง (Performance Maintenance Index: PMI) ซึ่งจะใช้เป็นตัวชี้วัดในการประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะของผิวทางลาดยางและคอนกรีตได้ โดยแบ่งเป็น 5 ระดับคุณภาพ ได้แก่ ดีมาก ดี ปานกลาง แย่ และแย่มาก โดยการคำนวณค่าดัชนีบำรุงรักษาผิวทางจะสามารถทำได้เมื่อถนนเส้นนั้น ๆ มีการสำรวจค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะโครงสร้างถนนครบทุกด้าน และด้วยข้อจำกัดนี้การคำนวณค่า PMI ในปัจจุบัน จึงไม่สามารถเป็นตัวแทนของค่า PMI ของถนนทั้งประเทศได้ เนื่องจากถนนที่สามารถคำนวณค่า PMI ได้มีจำนวนน้อยเกินไป

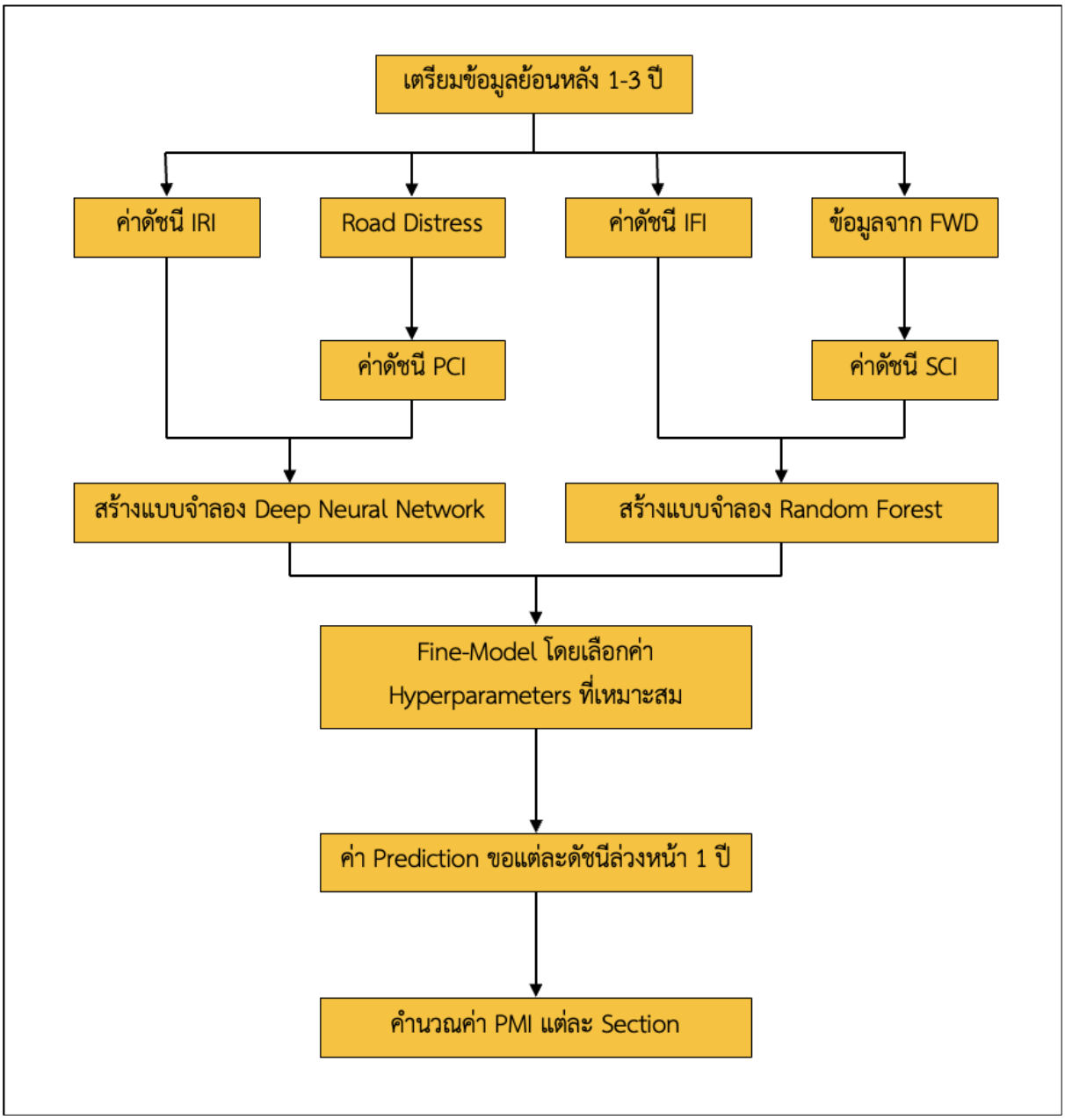
การคำนวณค่า PMI ของผิวทางลาดยางประกอบไปด้วยดัชนีชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน ความเรียบของถนน ความเสียหายของผิวทาง และความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง จากข้อมูลทั้งหมด พบว่า ถนนที่มีการสำรวจครบทั้ง 4 ดัชนี ได้แก่ 1) ถนนกลางสะพานมิตรภาพที่แม่สอด (เขตแดน ไทย / พม่า) – แม่ละเมา และ 2) ถนนหนองน้ำเขียว - ปางเคาะ คิดเป็นทั้งหมด 157 Sections เมื่อพิจารณาการสำรวจค่าดัชนีชี้วัดแต่ละตัว พบว่า การสำรวจความแข็งแรงของโครงสร้างถนนยังมีสัดส่วนที่น้อยกว่าการสำรวจความเรียบของถนน และความเสียหายของผิวทางมาก ส่งผลให้จำนวนช่วงถนนที่มีตัวแปรครบ 4 ด้าน มีจำนวนน้อย นอกจากนี้ การคำนวณค่าความแข็งแรงของโครงสร้างถนนหรือ SCI ยังเป็นตัวแปรที่ใหม่และเพิ่งเริ่มนำมาใช้ได้ไม่นาน จึงยังมีข้อจำกัดในเรื่องของข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณ จึงอาจส่งผลให้ SCI ยังมีข้อจำกัดและไม่ถูกนำไปปรับใช้กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม ดัชนี SCI เป็นดัชนีที่สามารถอธิบายความแข็งแรงของโครงสร้างของถนนได้เป็นอย่างดี กรมทางหลวงจึงควรพัฒนาวิธีการ/รูปแบบการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล SCI ต่อไป เพื่อให้สามารถคำนวณและเก็บข้อมูลของถนนได้อย่างต่อเนื่อง และมีประสิทธิภาพ

การคำนวณค่า PMI ของผิวทางคอนกรีตประกอบไปด้วยดัชนีชี้วัดสมรรถนะเพียง 3 ด้าน ได้แก่ ความเรียบของถนน ความเสียหายของผิวทาง และความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง จากข้อมูลทั้งหมด พบว่า ถนนที่มีการสำรวจครบทั้ง 3 ดัชนี มีทั้งหมด 22 สายทาง คิดเป็นทั้งหมด 1,640 Sections เมื่อพิจารณาการสำรวจค่าดัชนีชี้วัดแต่ละตัว พบว่า ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางมีสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับการสำรวจความเรียบของถนนและความเสียหายของผิวทาง

จากที่กล่าวมาข้างต้น กรมทางหลวงควรพิจารณาให้ความสำคัญกับสัดส่วนการสำรวจดัชนีชี้วัดสมรรถนะโครงสร้างถนนในแต่ละด้านให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถประเมินผลการวิเคราะห์สมรรถนะของถนนได้ โดยพิจารณาจากการให้ค่าน้ำหนักสำคัญของผู้เชี่ยวชาญร่วมด้วย เพื่อให้มีความสอดคล้องต่อการดำเนินงานต่อไป เช่น การเน้นการเก็บข้อมูลความเสียหายของถนน (Road distress) เพิ่มขึ้นเนื่องจากเป็นดัชนีที่ได้รับความสำคัญสูงสุดจากทั้งผู้เชี่ยวชาญ 11 ท่าน และจากวิศวกรทั้ง 5 สำนักของกรมทางหลวง และเป็นดัชนีที่เข้าใจง่าย สามารถเก็บข้อมูลได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือ

6.5 การวิเคราะห์ประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis)

ในส่วนนี้ ที่ปรึกษาได้ทำการสร้างแบบจำลองการเสื่อมสภาพจากดัชนีทั้ง 4 ตัวได้แก่ ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (SCI) ความเรียบของถนน (IRI) ความเสียหายของผิวทาง (PCI) และความต้านทานการลื่นไถล (IFI) ของผิวทาง ซึ่งแสดงวิธีการสร้างแบบจำลองดังรูปที่ 6-2 ซึ่งในการสร้างแบบจำลองของดัชนี IRI และ PCI จะใช้ Deep Neural Network ในการสร้างแบบจำลอง เนื่องจากมีข้อมูลปริมาณมาก ซึ่งเหมาะสมกับแบบจำลองประเภทนี้ ส่วนดัชนี IFI กับ SCI จะใช้แบบจำลอง Random Forest ในการสร้างแบบจำลอง เนื่องจากมีข้อมูลที่ค่อนข้างน้อย และมีตัวแปรขาเข้าที่น้อยกว่าดัชนี IRI และ PCI

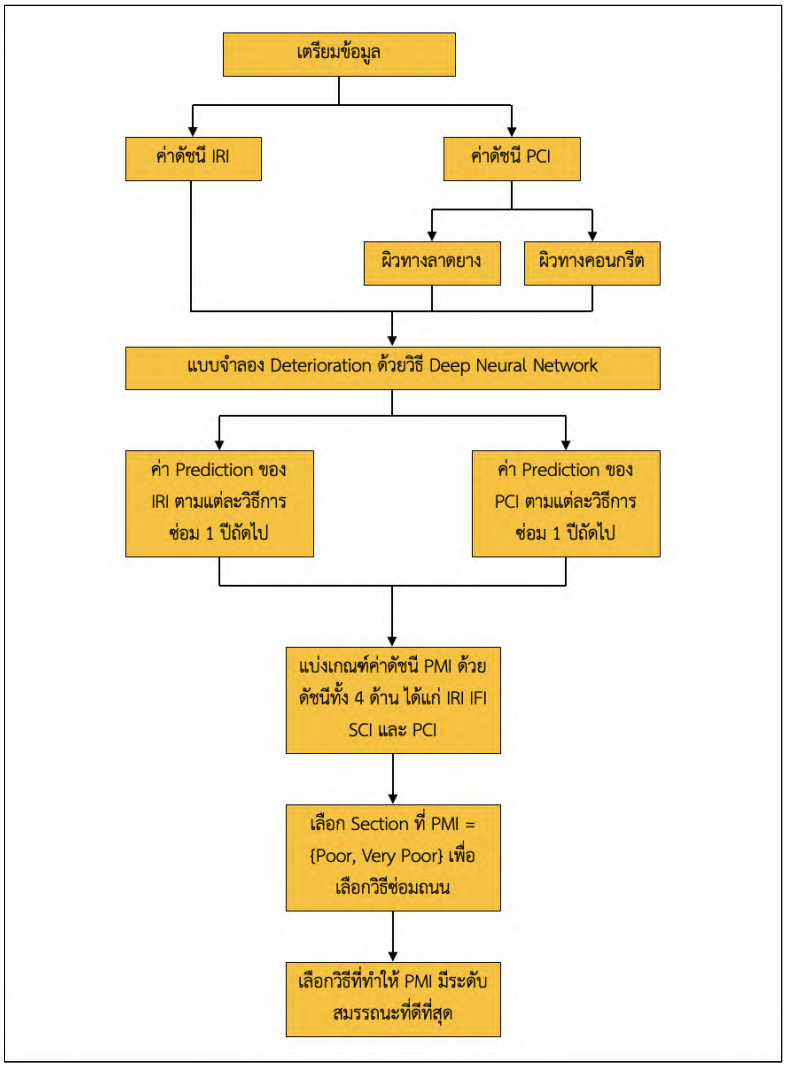


รูปที่ 6-2 แผนผังการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ

นอกจากนี้ที่ปรึกษาได้ทำการสร้างแบบจำลองแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลดัชนีขาเข้า แบบจำลองที่ใช้ข้อมูลที่เก็บจากอุปกรณ์สำรวจเป็นข้อมูลขาเข้า และแบบจำลองที่ทำการคัดกรองข้อมูลที่ไม่สมเหตุสมผลออกก่อนนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง

จากผลลัพธ์จะเห็นได้ว่า แบบจำลองดัชนี IFI จะมีค่าความแม่นยำมากที่สุด และตามด้วยดัชนี PCI, ดัชนี IRI และดัชนี SCI

ในส่วนการวิเคราะห์ผลกระทบการซ่อมบำรุง และการกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุง เมื่อที่ปรึกษาได้แบบจำลองคาดการณ์ค่าแต่ละดัชนีแล้ว ได้นำมาแบบจำลองมาใช้ในการคาดการณ์ดัชนีล่วงหน้า 1 ปี ของการซ่อมบำรุงผิวทางในแต่ละประเภท และนำค่าดัชนีที่ได้แบบจำลองมาคำนวณค่า PMI หรือดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง หลังจากนั้นจึงแบ่งเกณฑ์ PMI โดยตอนควบคุมที่มีเกณฑ์ PMI ต่ำกว่าหรือเท่ากับ Poor จะดำเนินการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่ทำให้เกณฑ์ PMI ดีที่สุด โดยแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ผลกระทบการซ่อมบำรุงและกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุงดังรูปที่ 6-3



รูปที่ 6-3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลกระทบการซ่อมบำรุงและกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุง

ในส่วนข้อจำกัดของแบบจำลอง และแนวทางในการปรับปรุงแบบจำลองในอนาคต มีรายละเอียดดังนี้

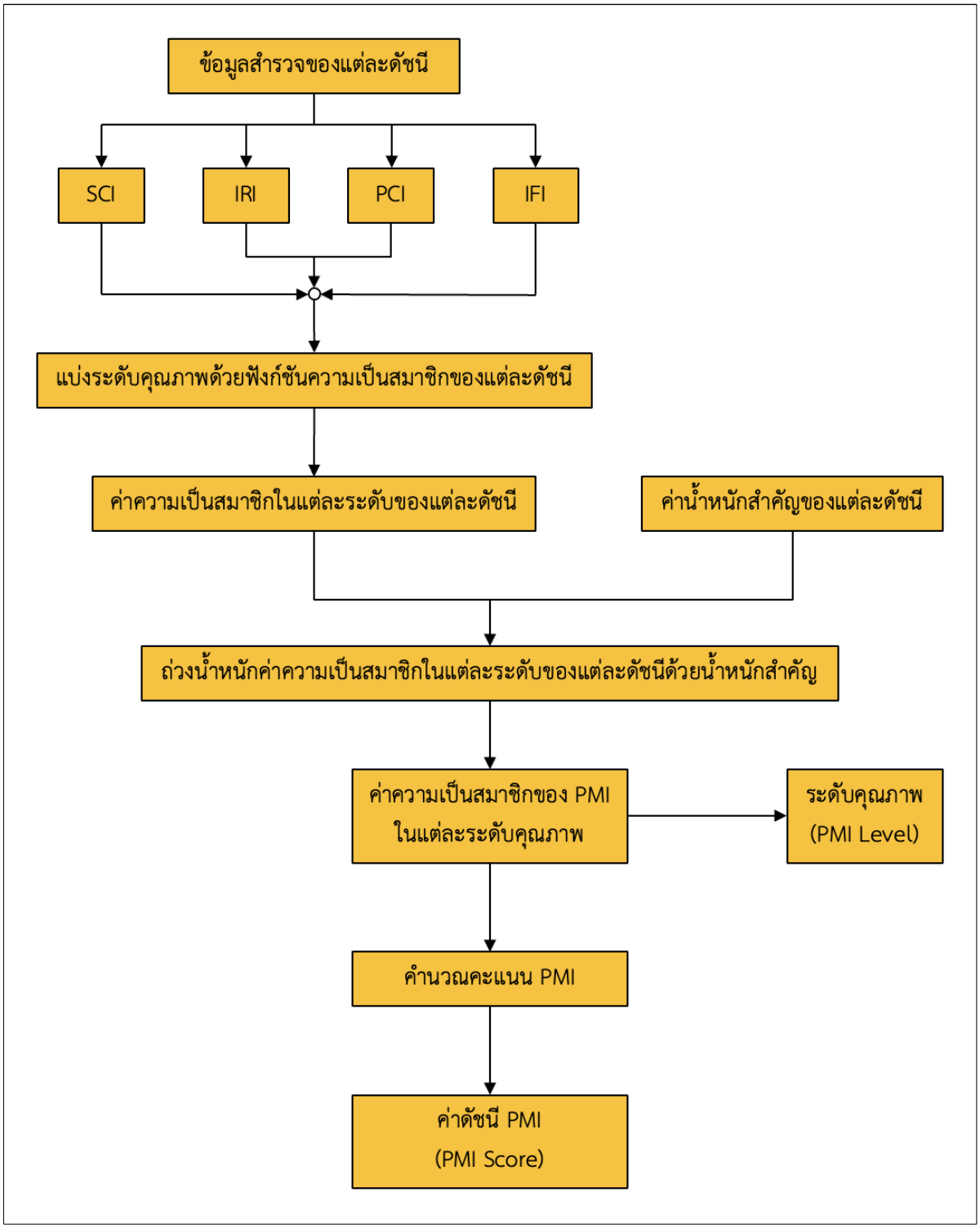
- เนื่องจากในปัจจุบันตั้งแต่ปี 2022 มีการเก็บข้อมูล IRI และความเสียหายของถนนโดยใช้วิธีการเก็บข้อมูลแบบ LCMS ส่วนในปี 2019-2021 เป็นการเก็บข้อมูลแบบ TPL ดังนั้นถ้าในอนาคตเมื่อมีการเก็บข้อมูลวิธี LCMS เพิ่มมากขึ้น อาจจะต้องมีการปรับปรุงแบบจำลอง เพิ่มเติมเพื่อให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น
- เนื่องจากในปัจจุบันข้อมูลในการซ่อมบำรุงสายทางยังมีไม่มากนัก ซึ่งยิ่งมีข้อมูลในการซ่อมบำรุงผิวทางมากยิ่งส่งผลให้การวิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุงแม่นยำมากยิ่งขึ้น
- เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองบางส่วนมีค่าที่ไม่สมเหตุสมผล เช่น มีการซ่อมบำรุงสายทางแต่ส่งผลให้ค่า IRI เพิ่มมากขึ้น หรือไม่มีการซ่อมบำรุงสายทางแต่ส่งผลทำให้ค่า IRI น้อยลง ซึ่งข้อมูลในลักษณะดังกล่าว ส่งผลทำให้แบบจำลองเกิดความคลาดเคลื่อนได้
- ในกรณีที่มีการเก็บข้อมูลสำรวจเพิ่มเติมในอนาคต จะต้องทำการแบ่งค่าดัชนีที่ได้จากข้อมูลสำรวจในแต่ละตอนควบคุมเป็นทุก ๆ 100 เมตรและคัดกรองข้อมูลที่ไม่สมเหตุสมผลออกเสียก่อนนำมาใช้เป็นข้อมูลขาเข้าของแบบจำลองต่อไป
- ในตอนควบคุมบางตำแหน่งไม่มีข้อมูลระบุประเภทผิวทาง ทำให้ข้อมูลในการนำมาสร้างแบบจำลองน้อยลง ซึ่งในปัจจุบันที่ปรึกษาได้แก้ปัญหาดังกล่าวไปเบื้องต้นโดยการใช้ผิวทางลาดยางแทนในตำแหน่งที่ไม่ทราบประเภทผิวทาง
- เนื่องจากไม่ทราบวัสดุที่เอามาทำปูผิวทางลาดยางในการซ่อมบำรุงสายทางรหัส 23300 ว่าเป็นวัสดุแอสฟัลต์ใหม่หรือวัสดุ Recycling ซึ่งอาจส่งผลทำให้ค่า SCI ในการสร้างแบบจำลองมีการคลาดเคลื่อนได้
- ข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง ในบางครั้ง การเก็บข้อมูลสภาพผิวทาง ถูกดำเนินการภายหลังจากงานซ่อมบำรุงอยู่ในช่วง 1 ถึง 11 เดือน ทำให้ค่าที่วัดได้ในภายหลัง มีสภาพที่แย่กว่าตอนที่เพิ่งซ่อมบำรุงเสร็จใหม่ ๆ ด้วยสาเหตุนี้ อาจส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลอง ทางที่ปรึกษาเสนอแนะให้ดำเนินการสำรวจข้อมูลสมรรถนะของถนนทันทีหลังการซ่อมบำรุงเพื่อให้ได้ค่าดัชนีที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น
- เนื่องจากความแม่นยำของแบบจำลองจะขึ้นอยู่กับความถูกต้องของข้อมูลที่มาใช้เป็นข้อมูลขาเข้าของแบบจำลองด้วยเช่นกัน ดังนั้น ในการเก็บข้อมูลสำรวจ ควรเก็บข้อมูลให้มีความถูกต้องและครบถ้วนมากที่สุด เช่น ข้อมูลการซ่อมบำรุงสายทาง ในบางปีค่าดัชนีดีขึ้นจากปีก่อนหน้าร้อยละ 1-30 แม้ไม่มีการซ่อมบำรุงถนน ซึ่งอาจเกิดได้จากการซ่อมบำรุงถนนจริงที่ไม่ได้บันทึกไว้ในฐานข้อมูล

6.6 งานจัดทำคู่มือวิเคราะห์สมรรถนะ และประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Analysis) โครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง (Manual)

เมื่อกล่าวถึงสมรรถนะของโครงสร้างถนนนั้น กรมทางหลวงได้ให้แนวทางในการนิยามสมรรถนะของถนนผ่านค่าดัชนีต่าง ๆ 4 ด้าน ได้แก่ ค่าดัชนีความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (SCI) ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ค่าดัชนีความเสียหายของผิวทาง (PCI) และค่าดัชนีความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง (IFI) ซึ่งเหล่านี้เป็นค่าดัชนีสากลที่มีการใช้งานอยู่ในทั่วโลก

สำหรับโครงการนี้ การที่จะพิจารณาถึงลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุง หรือเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่มีประสิทธิภาพ และได้ผลนั้น กรมทางหลวงจำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลด้านสมรรถนะทั้ง 4 ด้าน พร้อมกัน ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะดำเนินการได้ จึงมีแนวคิดที่จะรวมค่าดัชนีสากลทั้ง 4 เข้าเป็นค่าดัชนีเดียวที่เรียกว่าค่าดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง (PMI)

ดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง (Performance Maintenance Index) เป็นการคำนวณค่าดัชนีสมรรถนะของโครงสร้างถนนของถนนที่สำรวจกับค่าน้ำหนักสำคัญและเซตความเป็นสมาชิกของดัชนีสมรรถนะของโครงสร้างถนน โดยมีภาพรวมการดำเนินการ แสดงดังรูปที่ 6-4



รูปที่ 6-4 แผนผังการคำนวณค่าดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง (PMI)

โดยสามารถคำนวณค่าดัชนีบำรุงรักษาผิวทางได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\boldsymbol{PMI = W_{AHP} \otimes Fuzzy\ set_{norm}}$$

$$PMI = [W_{SCI}\ W_{IRI}\ W_{PCI}\ W_{IFI}]_{1x4} \begin{bmatrix} \mu_{VG}(SCI) & \mu_G(SCI) & \mu_F(SCI) & \mu_P(SCI) & \mu_{VP}(SCI) \\ \mu_{VG}(IRI) & \mu_G(IRI) & \mu_F(IRI) & \mu_P(IRI) & \mu_{VP}(IRI) \\ \mu_{VG}(PCI) & \mu_G(PCI) & \mu_F(PCI) & \mu_P(PCI) & \mu_{VP}(PCI) \\ \mu_{VG}(IFI) & \mu_G(IFI) & \mu_F(IFI) & \mu_P(IFI) & \mu_{VP}(IFI) \end{bmatrix}_{4x5}$$

โดยที่ $\boldsymbol{W_{AHP}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญของดัชนีสมรรถนะของโครงสร้างถนน

$\boldsymbol{W_{SCI}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญด้านความแข็งแรงของโครงสร้างถนน

$\boldsymbol{W_{IRI}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญด้านความเรียบของผิวทาง

$\boldsymbol{W_{PCI}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญด้านความเสียหายของผิวทาง

$\boldsymbol{W_{IFI}}$ คือ ค่าน้ำหนักสำคัญด้านความต้านทานการลื่นไถล

$\boldsymbol{\mu_{VG}}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพดีมาก (Very Good)

$\boldsymbol{\mu_G}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพดี (Good)

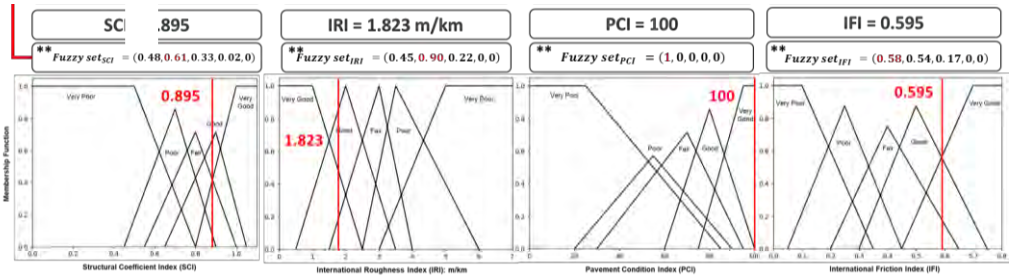
$\boldsymbol{\mu_F}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพปานกลาง (Fair)

$\boldsymbol{\mu_P}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพแย่ (Poor)

$\boldsymbol{\mu_{VP}}$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของระดับคุณภาพแย่มาก (Very Poor)

ตัวอย่างการคำนวณค่าดัชนีบำรุงรักษาผิวทางลาดยาง

1. ข้อมูลสำรวจ: SCI = 0.895, IRI = 1.823 m/km, PCI = 100 และ IFI = 0.595
2. ค่าน้ำหนักสำคัญ: WSCI = 0.187, WIRI = 0.162, WPCI = 0.380 และ WIFI = 0.271
3. หาค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละดัชนีด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก



4. Normalize ค่าความเป็นนสมาชิกที่หาในข้อที่ 3 และนำไปคูณกับค่าน้ำหนักสำคัญ

$$[\boldsymbol{PMI_{VG}\ \ PMI_G\ \ PMI_F\ \ PMI_P\ \ PMI_{VP}}] = [\mathbf{0.187\ \ 0.162\ \ 0.380\ \ 0.271}] \begin{bmatrix} \mathbf{0.33} & \mathbf{0.43} & \mathbf{0.23} & \mathbf{0.01} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0.29} & \mathbf{0.57} & \mathbf{0.14} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0.45} & \mathbf{0.42} & \mathbf{0.13} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

5. นำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณคะแนน โดยมีคะแนนตั้งแต่ 1 - 5 (5 หมายถึงค่าคะแนนของระดับคุณภาพดีมาก)

$$[\boldsymbol{PMI_{VG}} \quad \boldsymbol{PMI_G} \quad \boldsymbol{PMI_F} \quad \boldsymbol{PMI_P} \quad \boldsymbol{PMI_{VP}}] = [\mathbf{0.612} \quad \mathbf{0.286} \quad \mathbf{0.100} \quad \mathbf{0.002} \quad \mathbf{0}] \begin{bmatrix} \mathbf{5} \\ \mathbf{4} \\ \mathbf{3} \\ \mathbf{2} \\ \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

ดังนั้นค่า PMI = 4.508

6.7 งานจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์

ปรึกษาได้ดำเนินการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์โครงการ ประกอบด้วย 3 หัวข้อหลัก ได้แก่

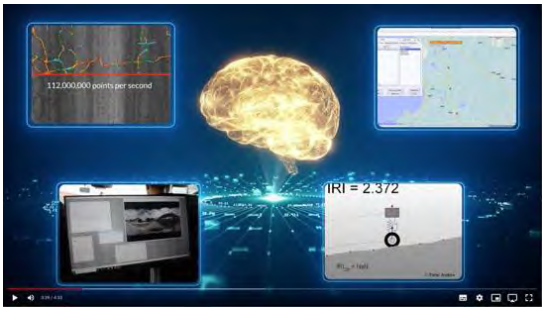
- ที่มาและความสำคัญ (ประมาณ 0.5 นาที)
- ขั้นตอนการดำเนินโครงการ (ประมาณ 2 นาที)
- ผลลัพธ์ของโครงการ (ประมาณ 1.5 นาที)

โดยมีลำดับภาพประกอบพร้อมบทบรรยายแสดงดังตารางที่ 6-1

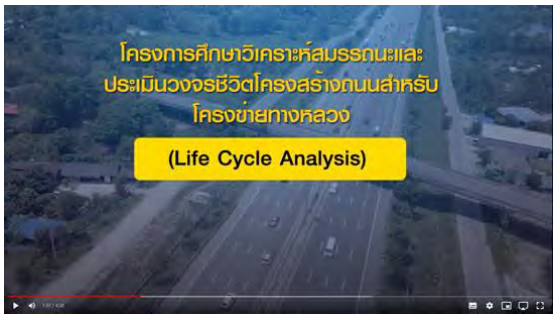
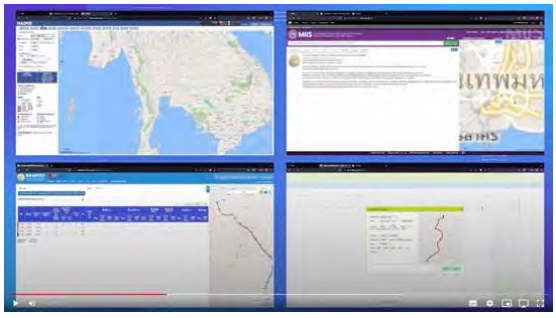
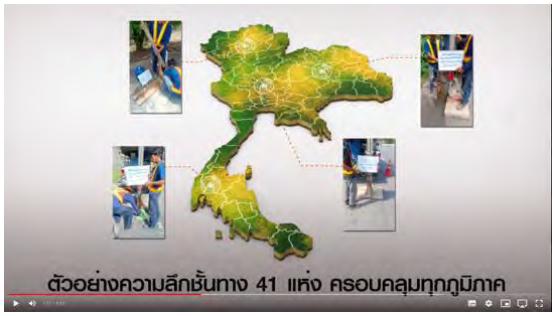
ตารางที่ 6-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์

ลำดับที่	ภาพประกอบการบรรยาย	บทบรรยาย
1		-
2		กรมทางหลวง มีวิสัยทัศน์เพื่อดูแลระบบทางหลวงที่สะดวก ปลอดภัย และเชื่อมโยงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศ

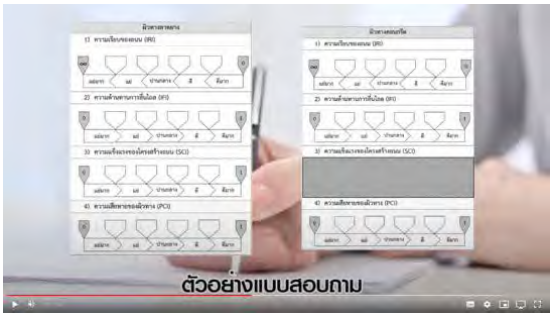
ตารางที่ 6-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพประกอบการบรรยาย	บทบรรยาย
3		ในปัจจุบันกรมทางหลวงมีสายทางในความดูแลมากถึง 1,530 สายทาง คิดเป็นระยะทางกว่า 52,336 กิโลเมตร
4		ซึ่งในแต่ละสายทางนั้น กรมทางหลวงต้องใช้ทรัพยากรบุคคล และงบประมาณในการบูรณะ และซ่อมบำรุงอยู่ตลอดเวลา
5		
6		ปัจจุบันวิทยาการคอมพิวเตอร์มีความก้าวหน้าไปอย่างมาก โดยเฉพาะกระบวนการ Machine Learning ที่เริ่มเข้ามามีส่วนช่วยในการตัดสินใจแทนมนุษย์
7		ฉะนั้น การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการ Machine Learning จะช่วยให้การบริหารจัดการด้านงบประมาณของกรมทางหลวง มีความถูกต้อง แม่นยำ และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

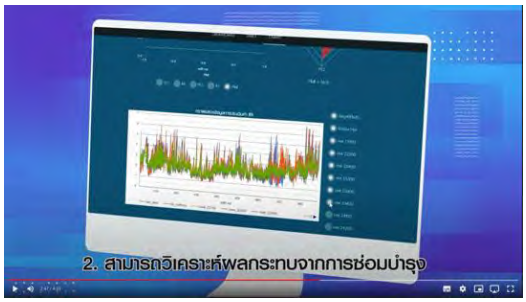
ตารางที่ 6-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพประกอบการบรรยาย	บทบรรยาย
8		โครงการศึกษาวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตโครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง (Life Cycle Analysis) จะเป็นหนึ่งในโครงการที่นำความสามารถของเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
9		ในการดำเนินงานนั้น กรมทางหลวงได้บูรณาการข้อมูลที่จำเป็นจากระบบฐานข้อมูลที่มีอยู่แต่เดิม
10		และได้สำรวจข้อมูลภาคสนามเพิ่มเติมอีกกว่า 1,027 กิโลเมตร ทำให้ได้ข้อมูล อันประกอบด้วย
11		ตัวอย่างความลึกชั้นทาง 41 แห่ง ครอบคลุมทุกภูมิภาค

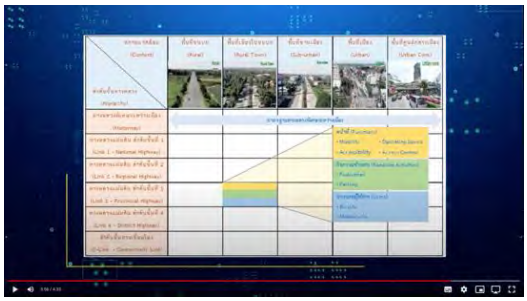
ตารางที่ 6-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพประกอบการบรรยาย	บทบรรยาย
12		- ค่าดัชนีความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (SCI) - ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) - ค่าดัชนีความลึกเฉลี่ยผิวทาง (MPD) - ค่าดัชนีการลื่นไถลของผิวทาง (IFI) - ปริมาณความเสียหายของผิวทาง (Distress) - ค่าดัชนีความเสียหายของผิวทาง (PCI) - อายุผิวทาง และ - ประวัติงานซ่อมบำรุง
13		กระบวนการ Machine Learning นั้น จำเป็นจะต้องใช้ความคิดเห็นของมนุษย์ในการฝึกฝนให้เครื่องสามารถคิด และตัดสินใจแบบมนุษย์ได้ จึงมีการจัดทำแบบสอบถาม AHP โดยมีผู้เชี่ยวชาญกว่า 50 ท่านเข้าร่วมทำแบบสอบถามในครั้งนี้
14		ผลจากการดำเนินโครงการดังกล่าว ทำให้ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตโครงสร้างถนน ซึ่งมีความสามารถ ดังนี้
15		1. สามารถวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของโครงสร้างถนน โดยจะทำนายการเสื่อมสภาพของถนนผ่านค่าดัชนีต่าง ๆที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตเมื่อถนนมีการใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง

ตารางที่ 6-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพประกอบการบรรยาย	บทบรรยาย
16		2. สามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง โดยจะทำนายค่าดัชนีต่าง ๆ ที่คาดว่าจะกลับมาดีขึ้นหลังการซ่อมบำรุง
17		3. สามารถกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุง โดยการสร้างเกณฑ์ของค่าดัชนีต่าง ๆ ขึ้นมาจากการวิเคราะห์ความเหมาะสมด้วยกระบวนการ Machine Learning
18		ด้วยความสามารถของโปรแกรมทั้ง 3 ส่วนนี้ จะถูกนำไปใช้ในการจัดทำหน้า Dashboard และค่าดัชนี PMI ในลำดับถัดไป
19		สำหรับค่าดัชนี PMI นั้น เป็นค่าที่เกิดจากผลรวมของค่าดัชนีทั้ง 4 ตัว
20		ประกอบด้วย IRI IFI SCI และ PCI เมื่อคูณด้วยสัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการทำแบบสอบถาม AHP แล้ว จะได้ค่าดัชนีใหม่ที่เรียกว่า PMI ซึ่งจะนำมาช่วยจัดลำดับความสำคัญของงานซ่อมบำรุงงานทางต่อไป

ตารางที่ 6-1 ลำดับภาพประกอบ และบทบรรยายสำหรับการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ (ต่อ)

ลำดับที่	ภาพประกอบการบรรยาย	บทบรรยาย
21		โดยจากทั้ง 3 หัวข้อที่กล่าวมานั้น จะเป็นการวิเคราะห์แยกตามลำดับชั้นของถนนที่กรมทางหลวงกำหนด เพื่อความสะดวกต่อการนำไปใช้ต่อไป
22		ผลที่ได้จากกการดำเนินโครงการจะสามารถนำไปใช้เพื่อประกอบการพิจารณา ดังนี้ 1. ช่วยจัดลำดับความสำคัญด้านการวางแผนงานซ่อมบำรุง 2. ประกอบการพิจารณาวางแผนด้านงบประมาณประจำปี และ 3. กำหนดรูปแบบทางเลือกวิธีการซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ
23		ทั้งนี้ โครงการดังกล่าว ยังอยู่ในขั้นของการศึกษาทดลอง โดยระบบต่าง ๆ ยังเป็นเพียงต้นแบบที่กรมทางหลวงจะพัฒนาให้สมบูรณ์แบบต่อไป
24		กรมทางหลวงจะไม่หยุดพัฒนา เพื่อต่อยอดไปสู่การสร้างสรรค์นวัตกรรม และเทคโนโลยีใหม่ ๆ ต่อไป
25		-

และทางที่ปรึกษาได้จัดทำวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการแล้วเสร็จ ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 6-5



รูปที่ 6-5 วิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ

6.8 สรุปผลที่ได้จากการดำเนินโครงการ

6.8.1 สำหรับงานวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิตของโครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง ที่ปรึกษาทำแบบจำลองทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ การวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ(Deterioration) การวิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Road Work Effect) และการกำหนดเงื่อนไขการซ่อมบำรุง (Maintenance Criteria)

6.8.2 ที่ปรึกษาได้จัดทำรูปแบบการนำเสนอและแสดงผลการวางแผนซ่อมบำรุงทางด้วยการจัดทำหน้า Dashboard และกำหนดค่าดัชนีบำรุงรักษาผิวทาง (PMI) ขึ้นมา ซึ่งจะช่วยในการวางแผนงบประมาณประจำปี และจัดลำดับความสำคัญในงานซ่อมบำรุงงานทางต่อไป

6.8.3 สำหรับการกำหนดรูปแบบทางเลือกวิธีการซ่อมบำรุง และบูรณะโครงสร้างถนนนั้น ที่ปรึกษาได้ดำเนินผ่านการวิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Road Work Effect) และจัดแสดงไว้ในหน้า Dashboard ซึ่งสามารถเลือกเปรียบเทียบวิธีการซ่อมบำรุง และบูรณะโครงสร้างถนนที่เหมาะสมได้อย่างสะดวก

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามที่ใช้ในการวิเคราะห์ลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP)

แบบฟอร์มสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ

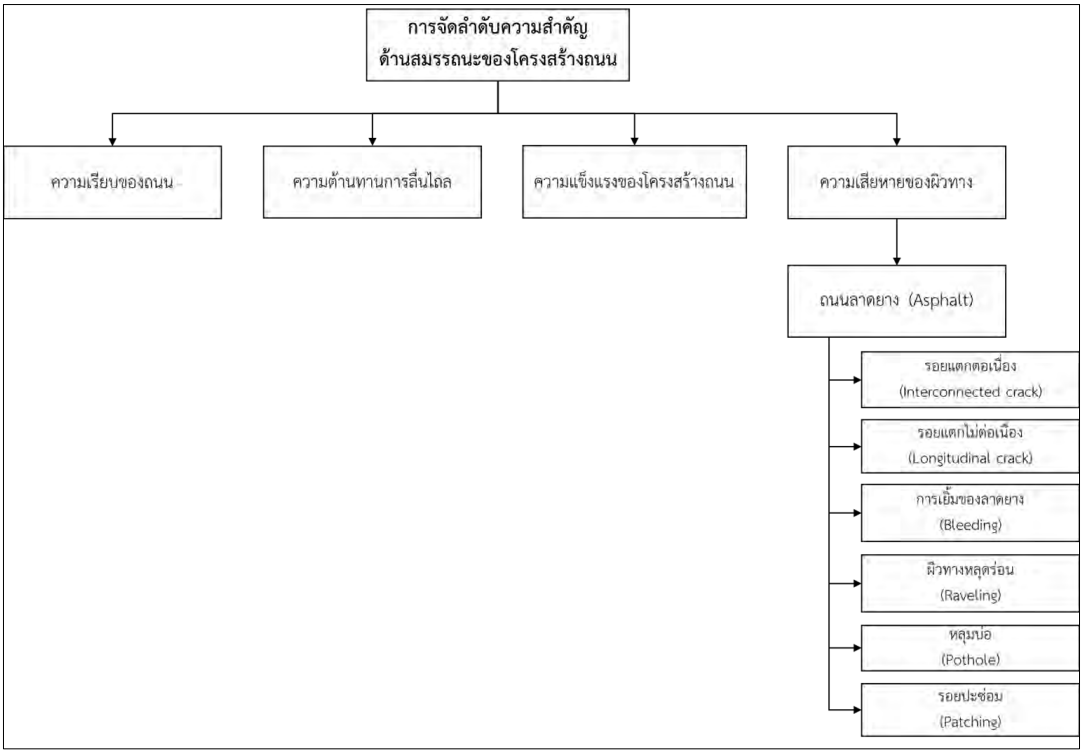
การให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยการตัดสินใจ โดยวิธี Analytic Hierarchy Process (AHP) โครงการศึกษาวิเคราะห์สมรรถนะและประเมินวงจรชีวิต (life cycle analysis) โครงสร้างถนนสำหรับโครงข่ายทางหลวง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลักของโครงสร้างถนนในแต่ละด้าน โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติขั้นสูงที่มีความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานอย่างสมเหตุสมผล
2. เพื่อวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักของดัชนีชี้วัดสมรรถนะหลักของโครงสร้างถนนในแต่ละด้าน โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP)
3. เพื่อจัดทำแบบสอบถามเพื่อวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของแต่ละด้าน โดยครอบคลุมข้อมูลด้านการบริหารจัดการงานทางจากผู้เชี่ยวชาญของกรมทางหลวง ได้แก่ สำนักบริหารบำรุงทาง สำนักแผนงาน สำนักอำนวยความปลอดภัย สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ และสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง จำนวนไม่น้อยกว่า 50 ชุด

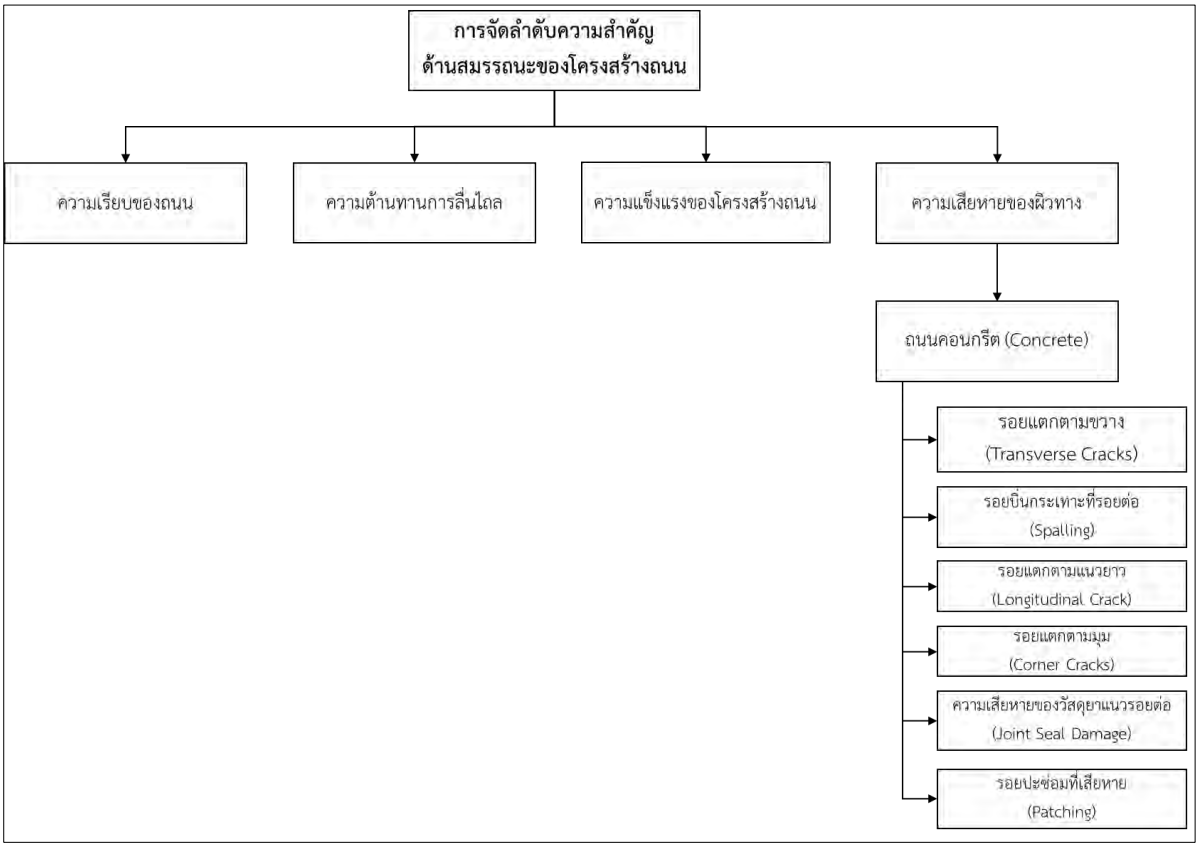
ส่วนที่ 1 : โครงสร้างเกณฑ์และคำอธิบายในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนน

1.1 โครงสร้างเกณฑ์ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยาง



รูปที่ 1 โครงสร้างเกณฑ์ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยาง

1.2 โครงสร้างเกณฑ์ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนนคอนกรีต



รูปที่ 2 โครงสร้างเกณฑ์ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนนคอนกรีต

พิจารณาโครงสร้างเกณฑ์ในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยางและถนนคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ตามลำดับ และคำอธิบาย/นิยามของเกณฑ์หลักแสดงดังตารางที่ 1 และเกณฑ์รองสำหรับการประเมินความเสียหายของผิวทางลาดยาง (Asphalt) และผิวทางคอนกรีต (Concrete) แสดงดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 คำอธิบาย/นิยามของเกณฑ์หลักในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนน

ลำดับ	เกณฑ์	คำอธิบาย/นิยาม
1.	ความเรียบของถนน	- พิจารณาความเรียบของถนนจากค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) ซึ่งคำนวณจากค่าระดับสะสมตามยาวของถนน (Longitudinal Road Profile) ที่เก็บได้จากอุปกรณ์ที่ติดอยู่กับเพลาล้อของรถสำรวจ (Quarter-Car Model) และหารด้วยระยะทางที่สำรวจ เพื่อรวมผลของค่าดัชนีความขรุขระเข้ากับหน่วยความลาดชัน
2.	ความต้านทานการลื่นไถล	- พิจารณาความต้านทานการลื่นไถลจากค่าดัชนีความเสียดทานสากล (International Friction Index; IFI) ซึ่งเกิดจากการผนวกค่าแรงยึดติด (Adhesion) และค่าแรงต้านทาน (Hysteresis) เข้าด้วยกัน โดยค่าแรงยึดติดเป็นแรงฝืดที่เกิดจากการเชื่อม หรือการหน่วงซึ่งมาจากวัสดุขนาดเล็กของผิวถนนกับยางล้อ ในขณะที่ค่าแรงต้านทานเป็นค่าที่เกิดจากการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากการเปลี่ยนรูปร่างของล้อยาง เมื่อล้อยางถูกบีบอัดเข้ากับพื้นผิวทาง
3.	ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน	- พิจารณาความแข็งแรงของโครงสร้างถนนจากการสำรวจโครงสร้างชั้นทางด้วยตุ้มน้ำหนักกระแทก (Falling Weight Deflectometer; FWD) มีหลักการทำงานโดยการปล่อยตุ้มน้ำหนักตกกระแทกลงบนผิวทาง แล้วทำการวัดค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นและคำนวณย้อนกลับโดยค่าการแอ่นตัวนั้นจะสามารถนำมาหาค่าโมดูลัสของวัสดุชั้นทางแต่ละชั้น ซึ่งค่าโมดูลัสเหล่านี้จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับใช้ในการคำนวณอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของถนน
4.	ความเสียหายของผิวทาง	- พิจารณาความเสียหายของผิวทาง (Pavement Distress) จากการประมวลผลข้อมูลความเสียหายจากรูปถ่ายโดยใช้หลักเกณฑ์ในการประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากกล้องบันทึกภาพ จะแบ่งการประมวลผลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนที่เป็นผิวทางลาดยาง และการประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนที่เป็นผิวทางคอนกรีต

ตารางที่ 2 คำอธิบาย/นิยามของเกณฑ์รองในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านความเสียหายของผิวทางของถนนลาดยาง (Asphalt)

ลำดับ	เกณฑ์	คำอธิบาย/นิยาม
1.	รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnected crack) 	- รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnecting Crack) เกิดจากความล้าของวัสดุชั้นผิวทางลาดยางหรือชั้นพื้นทางโดยน้ำหนักกระทำซ้ำของปริมาณการจราจร รอยแตกชนิดนี้จะเริ่มเกิดขึ้นที่ผิวล่างของชั้นผิวทางลาดยางหรือชั้นพื้นทางซึ่งมีความเครียดและความเค้นสูงภายใต้การกระทำของน้ำหนักของล้อรถ รอยแตกจะขยายตัวขึ้นมาปรากฏที่ผิวทางหนึ่งเส้นหรือมากกว่า ขนานกันตามแนวยาว จากนั้นจะเกิดรอยแตกเชื่อมต่อกันเป็นตารางเล็ก ๆ คล้ายหนังจระเข้ ปกติมีขนาดไม่เกิน 0.30 เมตร นอกจากนี้ รอยแตกต่อเนื่อง มีสาเหตุมาจากการรับน้ำหนักของรถบรรทุกกระทำซ้ำมากเกินกว่าที่โครงสร้างชั้นทางนั้นจะรับได้ทำให้เกิดการชำรุดของผิวทาง รอยแตกต่อเนื่องจะเกิดขึ้นในบริเวณตามรอยร่องล้อเป็นแห่งๆ หากเกิดเป็นบริเวณกว้างอย่างต่อเนื่องให้สันนิษฐานว่ารอยแตกนี้อาจเกิดจากน้ำหนักกระทำซ้ำสูงเป็นเวลานาน
2.	รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (Longitudinal crack) 	- รอยแตกไม่ต่อเนื่องหรือรอยแตกตามยาว มีลักษณะเป็นรอยแตกแนวยาวขนานไปกับถนน เกิดได้จาก 3 สาเหตุหลักด้วยกัน คือ 1) การทรุดตัวของไหล่ทางอันเนื่องมาจากโครงสร้างชั้นผิวดินด้านล่างถนนทรุดตัว เกิดการเลื่อนไหลของดินข้างทาง รวมทั้งความมั่นคงความลาดไม่พอส่งผลให้เกิดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างได้ง่ายเมื่อรับน้ำหนักจากรถบรรทุก นอกจากนี้รอยแตกตามยาวมีสาเหตุมาจากการขยายตัวและหดตัวของผิวลาดยางอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้น 2) คุณสมบัติของวัสดุในการก่อสร้างทาง หรือดินถมคันทางมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นสูง 3) วัดออกจากพื้นที่เสียหายจริงต้องการซ่อมบำรุงโดยจะวัดความยาวและความกว้างของพื้นที่ ความเสียหายเป็นเมตรและสรุปปริมาณความเสียหายเป็นตารางเมตร

ตารางที่ 2 คำอธิบาย/นิยามของเกณฑ์รองในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านความเสียหายของผิวทางของถนนลาดยาง (Asphalt) (ต่อ)

ลำดับ	เกณฑ์	คำอธิบาย/นิยาม
3.	การเยิ้มของลาดยาง (Bleeding) 	- การเยิ้ม หรือ Bleeding มีลักษณะเปนฟลมบาง ๆ ของยางแอสฟลตเกิดขึ้นบนผิวทางปรากฏเปนลักษณะแววววาวเปนมันและเหนียวหนืบ มีสาเหตุเนื่องจากมีปริมาณของยางแอสฟลต ในสวนผสมของแอสฟลต์คอนกรีตมากเกินไป หรือเพราะสวนผสมที่มีปริมาณชองวางอากาศ (Air Void) ต่ำ เมื่ออากาศร่อนยางแอสฟลตจะเยิ้มออกมาบนพื้นผิวทางแม่อุณหภูมิจะลดลงการเยิ้มก็จะไมย่อนกลับแตจะสะสมอยูบนผิวทาง
4.	ผิวทางหลุดร่อน (Raveling) 	- ผิวทางหลุดร่อน หรือ Raveling คือความเสียหายที่มีลักษณะเป็นผิวทางที่ขรุขระคล้ายหน้าข้าวตัง อาจเกิดจากยางแอสฟัลต์ ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมประสาน เริ่มแข็งตัวตามอายุการใช้งานจนสูญเสียแรงยึดเกาะทำให้มวลรวมหลุดร่อนออกไป หรือเกิดจากขั้นตอนการก่อสร้างเนื่องจากการบดอัดไม่เพียงพอ การปูผิวทางที่บางในระหว่างอากาศเย็น การใช้วัสดุมวลรวมสกปรกหรือไม่ยึดเกาะ การใช้แอสฟัลต์น้อยเกินไป หรือการให้ความร้อนในการผสมสูงเกินไป การหลุดร่อนนี้อาจเกิดจากการใช้ยานพาหนะบางชนิดวิ่งผ่าน เช่น ล้อตีนตะขาบ
5.	หลุมบ่อ (Pothole) 	- หลุมบ่อ หรือ Pothole คือ ความเสียหายที่เกิดจากการพังทลายของผิวถนนลงไปเป็นหลุมบ่อ มีลักษณะเป็นแอ่งหรือถ้วย มีหลายขนาด โดยทั่วไปมีขอบคมและเป็นแนวตรงบริเวณปากหลุม หลุมบ่อเป็นความเสียหายที่เกิดจากการบวมตัว ผิวหลุดร่อน รอยปะซ่อมที่ไม่ได้คุณภาพ ชิ้นส่วนที่ไม่ยึดเกาะเหล่านี้ จะหลุดออกไปตามแรงกระทำของล้อรถ วัสดุชั้นทางที่อยู่ใต้ลงไปก็จะหลุดออกตามไปด้วย เกิดเป็นหลุมบ่อที่มีความลึกมากขึ้น

ตารางที่ 2 คำอธิบาย/นิยามของเกณฑ์รองในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านความเสียหายของผิวทางของถนนลาดยาง (Asphalt) (ต่อ)

ลำดับ	เกณฑ์	คำอธิบาย/นิยาม
6.	รอยปะซ่อม (Patching) 	- รอยปะซ่อมที่เสียหาย หรือ Patching คือ รอยปะซ่อมเป็นรอยที่เกิดจากการปะซ่อมหรือการขุดซ่อม ผิวจราจรเดิมที่เกิดความเสียหาย โดยการเสริมด้วยวัสดุใหม่ หรือรื้อวัสดุเดิมออกแล้วแทนที่ด้วยวัสดุใหม่ อย่างไรก็ตาม รอยปะซ่อมหรือบริเวณใกล้เคียงนี้ มีคุณภาพการใช้งานไม่ดีเท่าผิวจราจรเดิม จึงถือว่าเป็นความเสียหายอย่างหนึ่ง

ตารางที่ 3 คำอธิบาย/นิยามของเกณฑ์รองในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านความเสียหายของผิวทางของถนนคอนกรีต (Concrete)

ลำดับ	เกณฑ์	คำอธิบาย/นิยาม
1.	รอยแตกตามขวาง (Transverse Cracks) 	- รอยแตกตามขวางเป็นรอยแตกเป็นเส้นที่เกิดขึ้นในแนวตั้งฉากกับแนวกึ่งกลางของถนน โดยส่วนใหญ่รอยแตกจะแบ่งแผ่นพื้นออกเป็นสองถึงสามส่วน ซึ่งเกิดจากหนึ่งสาเหตุหรือหลายสาเหตุประกอบกัน คือ น้ำหนักกระทำซ้ำสูงความเค้นของความแตกต่างของอุณหภูมิหรือความชื้น หรือความเค้นของการหดตัวในวัสดุใต้แผ่นพื้นคอนกรีตลงไป การหดตัวของคอนกรีต แผ่นพื้นยาวเกินไป การตัดรอยต่อตามขวางไม่ทัน ในบางกรณีเกิดจากการทรุดตัวของดินคันทางฐานราก หากพบรอยแตกตามขวางเกิดห่างจากรอยต่อตามขวาง (Transverse Joint) ไม่เกิน 0.30 เมตร อาจเกิดจากการวางเหล็กและการตัดเหล็กเดือย (Dowel Bar) ไม่ได้มาตรฐาน ดังนั้น รอยแตกในลักษณะดังกล่าวนี้จะถือว่าเป็นความเสียหายของระบบถ่ายแรงบริเวณรอยต่อ

ตารางที่ 3 คำอธิบาย/นิยามของเกณฑ์รองในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านความเสียหายของผิวทางของถนนคอนกรีต (Concrete) (ต่อ)

ลำดับ	เกณฑ์	คำอธิบาย/นิยาม
2.	รอยบิ่นกระเทาะที่รอยต่อ (Spalling) 	- รอยบิ่นกะเทาะที่รอยตอตามขวาง รอยตอตามยาว หรือรอยแตก มีลักษณะเปนรอยแตก หรือรอยแตกหัก หรือแตกเปนชิ้นเล็กชิ้นน่อยจนอาจมีชิ้นสวนคอนกรีตหลุดรอน บริเวณแนวขอบแผนคอนกรีต ไมเกิน 0.60 เมตร จากรอยตอหรือรอยแตกรอยบิ่นกะเทาะที่รอยตอหรือรอยแตกไมเกิดยาวเปนแนวดิ่งลงไปตลอดความหนาของแผนพื้น แตจะตัดเฉียงทำมุมไปชนกับรอยตอรอยบิ่นกะเทาะที่รอยตอตามขวาง รอยตอตามยาว หรือรอยแตก สวนใหญเปนผลมาจากน้ำหนักการจราจรกระทำซ้ำมีคาสูง
3.	รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack) 	- รอยแตกรอยต่อตามแนวยาว หรือ Longitudinal Cracks คือ รอยแตกเกิดขึ้นขนานกับแนวกึ่งกลางของถนน มีสาเหตุจากการทรุดตัวของดินฐานราก การเคลื่อนตัวของคันทาง หรือจากการสูญเสียกำลังรับน้ำหนักของวัสดุฐานรากในวัสดุใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีต
4.	รอยแตกตามมุม (Corner Cracks) 	- รอยแตกตามมุม หรือ Corner Cracks คือ รอยแตกที่มีลักษณะตัดผ่านรอยต่อ (Joint) แต่ละด้านของแผ่นพื้นคอนกรีต โดยมีระยะห่างจากมุมไม่เกินครึ่งหนึ่งของความกว้างของแผ่นพื้น รอยแตกนี้ มีความลึกต่อเนื่องตลอดความหนาของแผ่นพื้น ซึ่งมีสาเหตุจากหลายปัจจัย เช่น น้ำหนักกระทำซ้ำที่สูงมาก การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทำให้เกิดการบิดตัวของแผ่นคอนกรีต กำลังของการรับน้ำหนักของฐานรากไม่เพียงพอ หรือเกิดโพรงช่องว่างใต้แผ่นพื้นคอนกรีต เนื่องจากการเกิดการสูญเสียมวลรวมละเอียดไปกับน้ำที่พุ่งออกมาของชั้นโครงสร้างทาง

ตารางที่ 3 คำอธิบาย/นิยามของเกณฑ์รองในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านความเสียหายของผิวทางของถนนคอนกรีต (Concrete) (ต่อ)

ลำดับ	เกณฑ์	คำอธิบาย/นิยาม
5.	ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยตอ (Joint Seal Damage) 	- ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยตอเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบได้แก่การแข็งเปราะของวัสดุยาแนวรอยตอจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) วัสดุยาแนวรอยตอไม่ยึดเกาะกับขอบของแผ่นพื้น การหลุดรอนของวัสดุยาแนวรอยตอ วัสดุยาแนวรอยตอถูกบีบออกมาจากรอยตอวัสดุยาแนวรอยตอไม่เพียงพอหรือหายไป หรือการเกิดวัชพืชในแนวรอยตอจากสาเหตุดังกล่าวทำให้น้ำสามารถไหลซึมลงสู่ชั้นโครงสร้างทางตามแนวรอยตอที่เสียหายได้ หรืออาจเกิดการสะสมตัวของวัสดุที่ไม่สามารถอัดตัวได้ (Incompressible Materials) เช่น ดินหรือหินตามแนวรอยตอ ส่งผลให้แผ่นพื้นคอนกรีตไม่สามารถขยายตัวได้จนอาจทำให้เกิดความเสียหายในลักษณะของการโก่งงอ (Buckling) การแตกละเอียดเป็นชิ้น ๆ (Shattering) หรือการบิ่นกะเทาะ (Spalling) ตามแนวรอยตอ
6.	รอยปะซ่อมที่เสียหาย (Patching) 	- รอยปะซ่อมที่เสียหาย หรือ Patching คือ รอยปะซ่อมผิวคอนกรีตเป็นบริเวณบนพื้นผิวคอนกรีตที่ได้รับความเสียหาย ซึ่งการปะด้วยวัสดุแอสฟัสต์คอนกรีตมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความราบเรียบในการขับขี่และเพื่อเป็นการป้องกันน้ำไหลซึมลงใต้แผ่นคอนกรีต แต่อย่างไรก็ตามการปะซ่อมด้วยวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมิได้ซ่อมแซมรอยแตก หรือความเสียหายของเนื้อคอนกรีต ดังนั้น โดยทั่วไปภายในระยะเวลาไม่นานรอยปะแอสฟัลต์คอนกรีตก็จะเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากความเสียหายด้านล่าง โดยการที่รอยปะซ่อมผิวคอนกรีตจะมีสภาพดีหรือได้รับความเสียหายมากนั้น จะขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหายเดิมที่เกิดขึ้นกับผิวทางคอนกรีตด้านล่าง

จากโครงสร้างเกณฑ์หลักและคำอธิบายในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนน และเกณฑ์รองด้านความเสียหายของผิวทางของถนนลาดยาง (Asphalt) และผิวทางของถนนคอนกรีต (Concrete) โปรดพิจารณาให้ค่าคะแนนน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ โดยใช้ค่าคะแนนระดับความสำคัญของเกณฑ์หลักสำหรับการเปรียบเทียบเป็นคู่แสดงดังตารางที่ 4 และตัวอย่างการให้ค่าคะแนนเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าคะแนนระดับความสำคัญของเกณฑ์สำหรับการเปรียบเทียบเป็นคู่

ค่าคะแนนความสำคัญเปรียบเทียบ	**คำจำกัดความ**	**คำอธิบาย**
1	สำคัญเท่ากัน	การวินิจฉัยของทั้งสองปัจจัยมีผลเท่ากัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง	การวินิจฉัยพบว่า ปัจจัยหนึ่งสำคัญมากกว่าปัจจัยหนึ่งปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก	การวินิจฉัยพบว่า ปัจจัยหนึ่งสำคัญมากกว่าปัจจัยหนึ่งมาก
7	สำคัญกว่ามากมาก	การวินิจฉัยพบว่า ปัจจัยหนึ่งสำคัญมากกว่าปัจจัยหนึ่งมากมาก
9	สำคัญสูงสุด	มีหลักฐานสนับสนุนความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งสำคัญกว่าปัจจัยหนึ่งมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้
2, 4, 6 และ 8	เพื่อลดช่วงการพิจารณาให้มีความเหมาะสม	เพื่อลดช่องว่างในการวินิจฉัยเปรียบเทียบในลักษณะที่ก้ำกึ่งและไม่สามารถอธิบายด้วยคำพูดที่เหมาะสม

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการให้คะแนนค่าเปรียบเทียบ

เกณฑ์ (ซ้ายมือ)	**ค่าคะแนนเปรียบเทียบ**																**เกณฑ์ (ขวามือ)**
	<<< เกณฑ์ด้านซ้ายมือ มีความสำคัญมากกว่า								**สำคัญเท่ากัน**	**เกณฑ์ด้านขวามือ >>> มีความสำคัญมากกว่า**							
	9	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	
(1) เกณฑ์ 1					X													**(2) เกณฑ์ 2**

หมายเหตุ : ผู้เชี่ยวชาญทำการให้คะแนนโดยการทำเครื่องหมาย X เพื่อเปรียบเทียบระดับความสำคัญระหว่างเกณฑ์ "เกณฑ์ 1" กับ "เกณฑ์ 2" โดยผู้เชี่ยวชาญได้พิจารณาว่า "เกณฑ์ 1" (เกณฑ์ด้านซ้ายมือ) มีความสำคัญกว่า "เกณฑ์ 2" (เกณฑ์ด้านขวามือ) ในระดับ "5" หรือ "มีความสำคัญกว่ามาก"

ส่วนที่ 2 : ข้อมูลเบื้องต้น

2.1 ชื่อ.....

สกุล.....

2.2 ตำแหน่ง.....

2.3 วุฒิการศึกษาสูงสุด.....

2.4 ประสบการณ์ทำงานปี.....

2.5 ที่ทำงานปัจจุบัน.....

2.6 E-mail address : .....

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 3 : แบบสัมภาษณ์

3.1 พิจารณาให้ค่าน้ำหนักสำคัญเกณฑ์หลักในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญด้านสมรรถนะของโครงสร้างถนน

เกณฑ์	ค่าคะแนนเปรียบเทียบ																เกณฑ์
	<<< เกณฑ์ด้านซ้ายมือ มีความสำคัญมากกว่า								สำคัญเท่ากัน	เกณฑ์ด้านขวามือ >>> มีความสำคัญมากกว่า							
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
(1) ความเรียบของถนน																		(2) ความต้านทานการลื่นไถล
(1) ความเรียบของถนน																		(3) ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน
(1) ความเรียบของถนน																		(4) ความเสียหายของผิวทาง
(2) ความต้านทานการลื่นไถล																		(3) ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน
(2) ความต้านทานการลื่นไถล																		(4) ความเสียหายของผิวทาง
(3) ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน																		(4) ความเสียหายของผิวทาง

3.2 พิจารณาให้ค่าน้ำหนักสำคัญเกณฑ์รองในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญของความเสียหายของผิวทางลาดยาง (Asphalt)

เกณฑ์	ค่าคะแนนเปรียบเทียบ																เกณฑ์
	<<< เกณฑ์ด้านซ้ายมือ มีความสำคัญมากกว่า								สำคัญเท่ากัน	เกณฑ์ด้านขวามือ >>> มีความสำคัญมากกว่า							
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
(1) รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnected crack)																		(2) รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (Longitudinal crack)
(1) รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnected crack)																		(3) การเยิ้มของลาดยาง (Bleeding)
(1) รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnected crack)																		(4) ผิวทางหลุดร่อน (Raveling)
(1) รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnected crack)																		(5) หลุมบ่อ (Pothole)
(1) รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnected crack)																		(6) รอยปะซ่อม (Patching)
(2) รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (Longitudinal crack)																		(3) การเยิ้มของลาดยาง (Bleeding)
(2) รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (Longitudinal crack)																		(4) ผิวทางหลุดร่อน (Raveling)

3.2 พิจารณาให้ค่าน้ำหนักสำคัญเกณฑ์รองในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญของความเสียหายของผิวทางลาดยาง (Asphalt) (ต่อ)

เกณฑ์	ค่าคะแนนเปรียบเทียบ																เกณฑ์
	<<< เกณฑ์ด้านซ้ายมือ มีความสำคัญมากกว่า								สำคัญเท่ากัน	เกณฑ์ด้านขวามือ >>> มีความสำคัญมากกว่า							
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
(2) รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (Longitudinal crack)																		(5) หลุมบ่อ (Pothole)
(2) รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (Longitudinal crack)																		(6) รอยปะซ่อม (Patching)
(3) การเยิ้มของลาดยาง (Bleeding)																		(4) ผิวทางหลุดร่อน (Raveling)
(3) การเยิ้มของลาดยาง (Bleeding)																		(5) หลุมบ่อ (Pothole)
(3) การเยิ้มของลาดยาง (Bleeding)																		(6) รอยปะซ่อม (Patching)
(4) ผิวทางหลุดร่อน (Raveling)																		(5) หลุมบ่อ (Pothole)
(4) ผิวทางหลุดร่อน (Raveling)																		(6) รอยปะซ่อม (Patching)
(5) หลุมบ่อ (Pothole)																		(6) รอยปะซ่อม (Patching)

ภาคผนวก ข

การรวบรวมข้อมูลสารสนเทศ และฐานข้อมูลจากระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS) และระบบบริหารแผนงานทางหลวง (Plannet)

1. ข้อมูลจากฐานข้อมูลจากระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS)

จากการศึกษาข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง พบว่า ปริมาณการจราจรอาจมีผลต่อความเสียหายของผิวทางนั้น ๆ ทั้งนี้ ต้องขึ้นอยู่กับชนิดของยานพาหนะ โดยหลังจากการศึกษาแล้ว พบว่า ระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS) มีความเหมาะสม เนื่องจากเป็นระบบที่เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณจราจรบนทางหลวงแยกชนิดยานพาหนะอย่างครบถ้วน ซึ่งจะสามารถนำไปคำนวณหาโหลดเพลาเดี่ยวเทียบเท่า (Equivalent Single Axle Load; ESAL) ได้ต่อไป ทั้งนี้ ที่ปรึกษาได้รวบรวมข้อมูลปี พ.ศ. 2565 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลจากฐานข้อมูลจากระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS)

No.	Route	Control	veh1	veh2	veh3	veh4	veh5	veh6	veh7	veh8	veh9	veh10	veh11	veh12	veh13	total
1.	115	301	417	1,304	1,523	539	285	121	54	1,617	262	159	175	92	52	4,827
2.	201	202	9	1,225	5,138	2,115	4	3	102	6,198	563	533	762	890	2	16,308
3.	210	201	5	855	4,201	442	71	44	43	4,085	375	234	451	209	9	10,155
4.	216	101	126	2,919	8,327	348	155	-	-	7,534	782	507	583	426	133	18,662
5.	303	100	251	13,442	32,477	12,529	2,458	2,199	831	28,371	2,366	1,730	1,725	444	-	85,130
6.	306	102	-	14,698	23,466	8,279	1,136	895	4,732	4,030	941	1,635	16	-	-	45,130
7.	315	200	11	7,828	15,310	14,327	4,345	2,980	3,204	19,422	7,101	4,304	4,460	4,355	12	79,808
8.	315	200	11	7,828	15,310	14,327	4,345	2,980	3,204	19,422	7,101	4,304	4,460	4,355	12	79,808
9.	315	200	11	7,828	15,310	14,327	4,345	2,980	3,204	19,422	7,101	4,304	4,460	4,355	12	79,808

ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลจากฐานข้อมูลจากระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS) (ต่อ)

No.	Route	Control	veh1	veh2	veh3	veh4	veh5	veh6	veh7	veh8	veh9	veh10	veh11	veh12	veh13	total
10.	315	200	11	7,828	15,310	14,327	4,345	2,980	3,204	19,422	7,101	4,304	4,460	4,355	12	79,808
11.	351	100	-	15,081	29,883	16,394	-	-	197	8,440	4	-	-	-	-	54,918
12.	401	302	141	4,655	7,688	7,588	354	494	330	9,307	1,130	579	258	135	2	27,863
13.	406	102	278	2,695	4,794	2,075	397	198	29	2,135	297	141	2	4	3	10,072
14.	408	203	43	2,229	2,943	2,331	311	187	56	5,388	364	320	346	241	12	12,487
15.	419	100	51	3,053	4,806	2,986	16	4	12	4,060	170	196	156	137	4	12,543
16.	1020	100	1,056	4,979	4,752	3,127	148	127	5	6,667	2,366	2,537	1,802	1,662	1,085	23,193
17.	1033	100	48	12,960	14,503	337	30	30	-	90	274	90	61	30	2	15,445
18.	1098	102	98	886	1,088	425	23	17	18	1,557	126	97	105	45	53	3,501
19.	1150	200	27	446	297	134	98	-	-	1,018	245	66	-	-	154	1,858
20.	1174	102	232	859	1,341	1,088	167	116	50	3,145	582	452	186	167	61	7,294
21.	3042	100	231	1,131	1,215	1,605	23	10	53	862	512	465	189	115	3	5,049
22.	3119	102	633	10,696	19,431	19,554	2,378	1,134	1,989	4,556	2,424	2,185	1,765	1,886	-	57,302
23.	3196	200	4	1,179	840	40	7	-	6	1,786	160	107	157	84	46	3,187

ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลจากฐานข้อมูลจากระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS) (ต่อ)

No.	Route	Control	veh1	veh2	veh3	veh4	veh5	veh6	veh7	veh8	veh9	veh10	veh11	veh12	veh13	total
24.	3196	301	9	1,300	2,735	1,856	46	30	57	1,815	223	251	213	68	9	7,294
25.	3211	100	7	1,506	747	673	-	-	-	1,670	183	199	185	175	-	3,832
26.	3215	102	2,454	6,395	14,758	5,727	1,343	530	539	14,198	2,887	2,129	2,124	2,805	-	47,040
27.	3224	102	87	1,286	1,819	1,586	96	102	113	2,170	215	121	134	104	67	6,460
28.	3256	102	20	19,802	27,584	5,469	957	385	1,150	10,916	2,534	1,151	2,619	-	-	52,765
29.	3344	100	-	14,628	26,456	15,142	848	193	479	18,416	1,541	989	856	409	21	65,329
30.	4003	100	25	2,032	2,665	640	30	-	-	2,731	172	98	11	-	14	6,347
31.	4003	100	25	2,032	2,665	640	30	-	-	2,731	172	98	11	-	14	6,347
32.	4009	101	11	1,252	3,269	579	45	-	-	4,591	195	207	307	87	5	9,280
33.	4009	300	29	1,890	2,442	2,359	8	-	3	2,739	635	416	252	165	34	9,019
34.	4023	100	12	1,639	1,868	1,433	13	-	-	1,451	11	5	-	-	-	4,781
35.	4029	100	12	5,629	3,856	2,316	18	-	-	2,309	138	51	-	-	-	8,688
36.	4030	100	8	2,548	2,977	2,471	42	-	-	2,335	42	-	-	-	-	7,867
37.	4030	100	8	2,548	2,977	2,471	42	-	-	2,335	42	-	-	-	-	7,867

ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลจากฐานข้อมูลจากระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (TIMS) (ต่อ)

No.	Route	Control	veh1	veh2	veh3	veh4	veh5	veh6	veh7	veh8	veh9	veh10	veh11	veh12	veh13	total
38.	4030	100	8	2,548	2,977	2,471	42	-	-	2,335	42	-	-	-	-	7,867
39.	4030	100	8	2,548	2,977	2,471	42	-	-	2,335	42	-	-	-	-	7,867
40.	4030	100	8	2,548	2,977	2,471	42	-	-	2,335	42	-	-	-	-	7,867
41.	4030	100	8	2,548	2,977	2,471	42	-	-	2,335	42	-	-	-	-	7,867
42.	4045	100	1	6,304	4,895	2,782	27	28	30	6,852	125	62	30	24	-	14,855
43.	4091	101	-	379	453	101	-	-	-	600	93	37	2	-	-	1,286
44.	4091	102	-	1,369	4,164	29	-	-	-	1,931	137	38	20	5	30	6,324
45.	4184	100	55	987	563	272	13	3	1	129	68	11	-	1	11	1,061
46.	4219	100	-	1,331	2,224	60	2	-	-	706	90	47	7	25	5	3,161
47.	4246	100	-	655	1,055	68	-	-	-	624	61	42	9	-	5	1,859
48.	4311	100	13	2,135	3,472	1,823	36	8	19	5,292	454	493	307	347	3	12,251
รวม 36 สายทาง																

หมายเหตุ : *veh1 = รถจักรยาน 2 ล้อ และรถจักรยาน 3 ล้อ*

veh2 = รถสามล้อเครื่อง และรถจักรยานยนต์

veh3 = รถยนต์นั่ง (ไม่เกิน 7 คน)

veh4 = รถยนต์นั่ง (เกิน 7 คน)

veh5 = รถโดยสารขนาดเล็ก

veh6 = รถโดยสารขนาดกลาง

veh7 = รถโดยสารขนาดใหญ่

veh8 = รถบรรทุก (4 ล้อ)

veh9 = รถบรรทุก (6 ล้อ)

veh10 = รถบรรทุก (10 ล้อ)

veh11 = รถบรรทุกพ่วง (มากกว่า 3 เพลา)

veh12 = รถบรรทุกกึ่งพ่วง (มากกว่า 3 เพลา)

veh13 = รถเครื่องจักร และรถดัดแปลง

2. ข้อมูลจากระบบบริหารแผนงานทางหลวง (Plannet)

จากการศึกษาข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องพบว่า ระบบฐานข้อมูลสารสนเทศของกรมทางหลวงยังไม่มีการเก็บข้อมูลในรูปของอายุของผิวทางที่ชัดเจน ทั้งนี้ ในการดำเนินงานเพื่อการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ (Deterioration) หรือวิเคราะห์ผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Road Work Effect) จำเป็นต้องมีการนำเข้าข้อมูลอายุของผิวทางที่ชัดเจน เพื่อกระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning Process) ดังนั้น ที่ปรึกษาจึงได้ใช้ข้อมูลจากระบบบริหารแผนงานทางหลวง (Plannet) ซึ่งได้เก็บรวมรวบประวัติการซ่อมบำรุง และระบุเวลาที่ได้มีการซ่อมบำรุงที่ครบถ้วน จึงสามารถนำมาคำนวณเพิ่มเติมเพื่อใช้แทนอายุของผิวทางโดยตรงได้ ทั้งนี้ ที่ปรึกษาได้รวบรวมข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ถึงปี พ.ศ. 2566 จำนวน 20 สายทางจาก 36 สายทาง เนื่องจากพบว่า บางสายทางไม่มีการซ่อมบำรุงเกิดขึ้นในระยะเวลาดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลจากระบบบริหารแผนงานทางหลวง (Plannet)

No.	Route	Control	Plan Code	Plan Detail	Direction	km_start	km_end	budget_year
1.	4091	102	24100	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์		56+173	56810	2562
2.	3215	102	25100	งานปรับปรุงผิวจราจร		14+900	15+900	2562
3.	419	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		24+300	26+000	2562
4.	408	203	24100	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์		165+583	165+790	2562
5.	303	100	22400	งานเปลี่ยนวัสดุรอยต่อผิวคอนกรีต		8+500	10+500	2562
6.	3119	102	22400	งานเปลี่ยนวัสดุรอยต่อผิวคอนกรีต		5+309	5+314	2562
7.	351	100	22400	งานเปลี่ยนวัสดุรอยต่อผิวคอนกรีต		7+800	9+400	2562

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลจากระบบบริหารแผนงานทางหลวง (Plannet) (ต่อ)

No.	Route	Control	Plan Code	Plan Detail	Direction	km_start	km_end	budget_year
8.	351	100	22400	งานเปลี่ยนวัสดุรอยต่อผิวคอนกรีต		5+200	6+800	2562
9.	351	100	22400	งานเปลี่ยนวัสดุรอยต่อผิวคอนกรีต		2+700	4+400	2562
10.	351	100	22400	งานเปลี่ยนวัสดุรอยต่อผิวคอนกรีต		0+000	1+800	2562
11.	401	302	23400	งานซ่อมทางผิวคอนกรีต		145+542	152+479	2562
12.	4311	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		9+220	10+600	2562
13.	4184	100	22100	งานฉาบผิวแอสฟัลต์	LT+RT	9+912	17+097	2562
14.	4184	100	22100	งานฉาบผิวแอสฟัลต์		10+847	17+097	2562
15.	4184	100	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		18+300	21+500	2562
16.	4184	100	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		21+500	21+650	2562
17.	4009	101	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		12+250	15+200	2563
18.	4219	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		14+000	17+500	2563
19.	4219	100	23200	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์		18+749	19+942	2563
20.	4246	100	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		12+451	14+641	2563

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลจากระบบบริหารแผนงานทางหลวง (Plannet) (ต่อ)

No.	Route	Control	Plan Code	Plan Detail	Direction	km_start	km_end	budget_year
21.	4091	102	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		58+310	64+020	2563
22.	4091	101	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		35+100	35+120	2563
23.	4091	101	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		34+700	34+750	2563
24.	4091	101	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		8+577	10+138	2563
25.	4091	101	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		11+375	11+447	2563
26.	4091	101	24100	งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์		11+100	13+230	2563
27.	4091	101	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		47+322	51+142	2563
28.	4091	101	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์	LT+RT	13+230	15313	2563
29.	4023	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		6+060	8+770	2563
30.	4311	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์	RT	10+660	14+040	2563
31.	3119	102	24200	งานบูรณะทางผิวคอนกรีต		5+300	9+900	2563
32.	351	100	24200	งานบูรณะทางผิวคอนกรีต		0+000	0+100	2563
33.	419	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		0+300	1+691	2563

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลจากระบบบริหารแผนงานทางหลวง (Plannet) (ต่อ)

No.	Route	Control	Plan Code	Plan Detail	Direction	km_start	km_end	budget_year
34.	419	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		22+100	24+300	2563
35.	419	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		29+400	30+442	2564
36.	419	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์	LT+RT	30+790	31+148	2564
37.	4045	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		0+000	5+294	2564
38.	4029	100	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		0+000	0+300	2564
39.	401	302	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		151+263	151+264	2564
40.	4009	300	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		139+480	141+536	2564
41.	4311	100	23300	งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมนำกลับมาใช้ใหม่	LT	1+413	5+500	2564
42.	4009	101	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		6+010	8+000	2564
43.	406	102	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		57+520	59+520	2564
44.	406	102	23100	งานปรับระดับผิวทาง		65+700	66+805	2564
45.	406	102	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์	LT	61+090	64+300	2564
46.	406	102	23100	งานปรับระดับผิวทาง		54+775	56+850	2564

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลจากระบบบริหารแผนงานทางหลวง (Plannet) (ต่อ)

No.	Route	Control	Plan Code	Plan Detail	Direction	km_start	km_end	budget_year
47.	406	102	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		70+000	71+800	2564
48.	406	102	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		74+120	75+100	2564
49.	4184	100	23100	งานปรับระดับผิวทาง		0+000	2+730	2564
50.	4219	100	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		19+525	21+600	2564
51.	4246	100	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		26+800	27+700	2564
52.	4246	100	23200	งานซ่อมทางผิวแอสฟัลต์		9+900	12+400	2564
53.	4091	101	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		28+345	30+953	2564
54.	4091	101	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		37+525	37+600	2564
55.	351	100	23400	งานซ่อมทางผิวคอนกรีต		1+000	9+900	2564
56.	3256	102	23400	งานซ่อมทางผิวคอนกรีต	-	13+600	17+000	2564
57.	4311	100	23300	งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมนำกลับมาใช้ใหม่	RT	17+000	21+000	2565
58.	4009	300	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		135+000	139+000	2565
59.	419	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		15+000	16+000	2565

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลจากระบบบริหารแผนงานทางหลวง (Plannet) (ต่อ)

No.	Route	Control	Plan Code	Plan Detail	Direction	km_start	km_end	budget_year
60.	4091	101	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน	RT	11+000	11+000	2565
61.	4091	101	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		35+000	35+000	2565
62.	4091	101	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		50+000	56+000	2565
63.	4184	100	27200	งานฟื้นฟูทางหลวงเพื่อคืนสู่สภาพอย่างยั่งยืน		18+000	21+000	2565
64.	4009	300	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์	LT+RT	132+000	135+000	2566
65.	4184	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์		2+000	4+000	2566
66.	406	102	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์	RT	61+000	64+000	2566
67.	419	100	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์	LT+RT	21+000	24+000	2566
68.	3215	102	22400	งานเปลี่ยนวัสดุรอยต่อผิวคอนกรีต	LT+RT	13+000	17+000	2566
69.	4009	101	22200	งานเสริมผิวแอสฟัลต์	RT	14+000	15+000	2566
รวม 20 สายทาง								

ภาคผนวก ค

การคำนวณค่าความเสียหายของผิวทาง

1. การคำนวณค่าความเสียหายของผิวทางลาดยาง

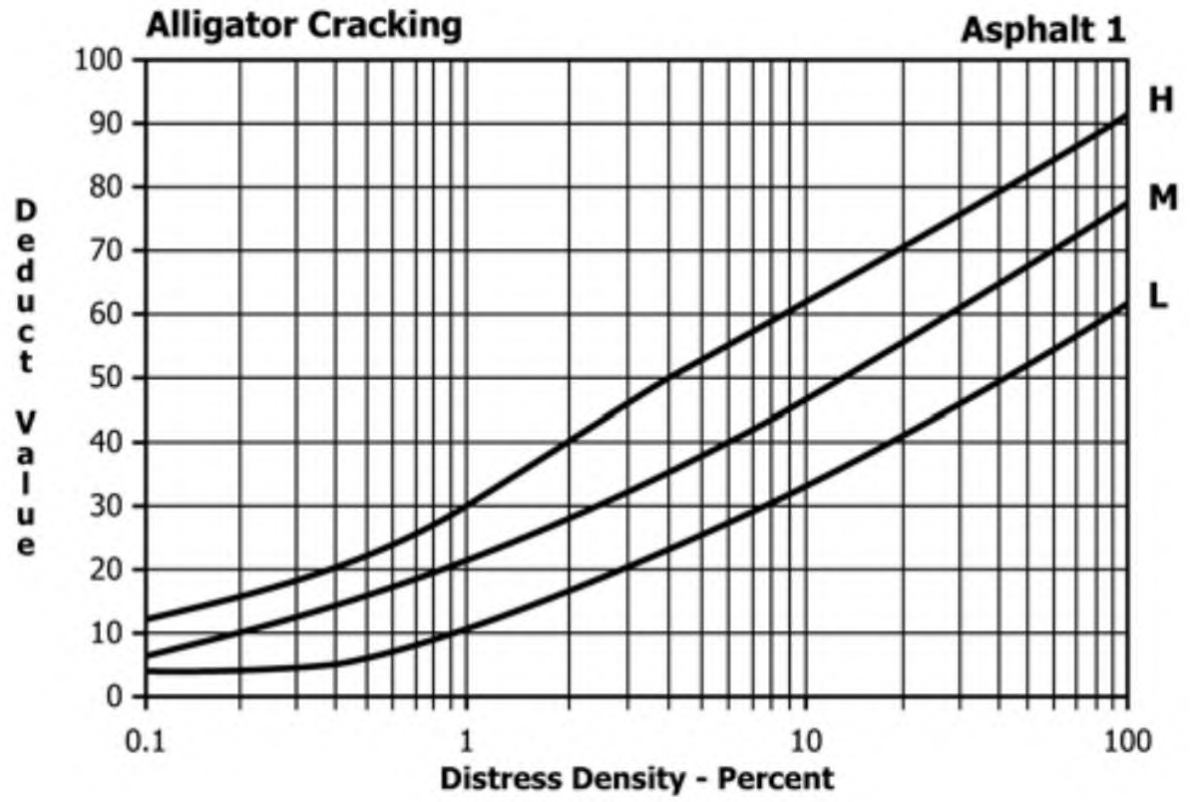
ที่ปรึกษาคำนวณค่าความเสียหายของผิวทางโดยอ้างอิงจากมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) มีรายละเอียดขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) สรุปค่าความเสียหายของผิวทางที่สำรวจโดยจำแนกเป็นแต่ละประเภทความเสียหาย
2) คำนวณค่า Density ของแต่ละประเภทความเสียหาย ดังสมการต่อไปนี้

$$\boldsymbol{Density = \frac{distress\ amount}{sample\ unit\ area} \times 100}$$

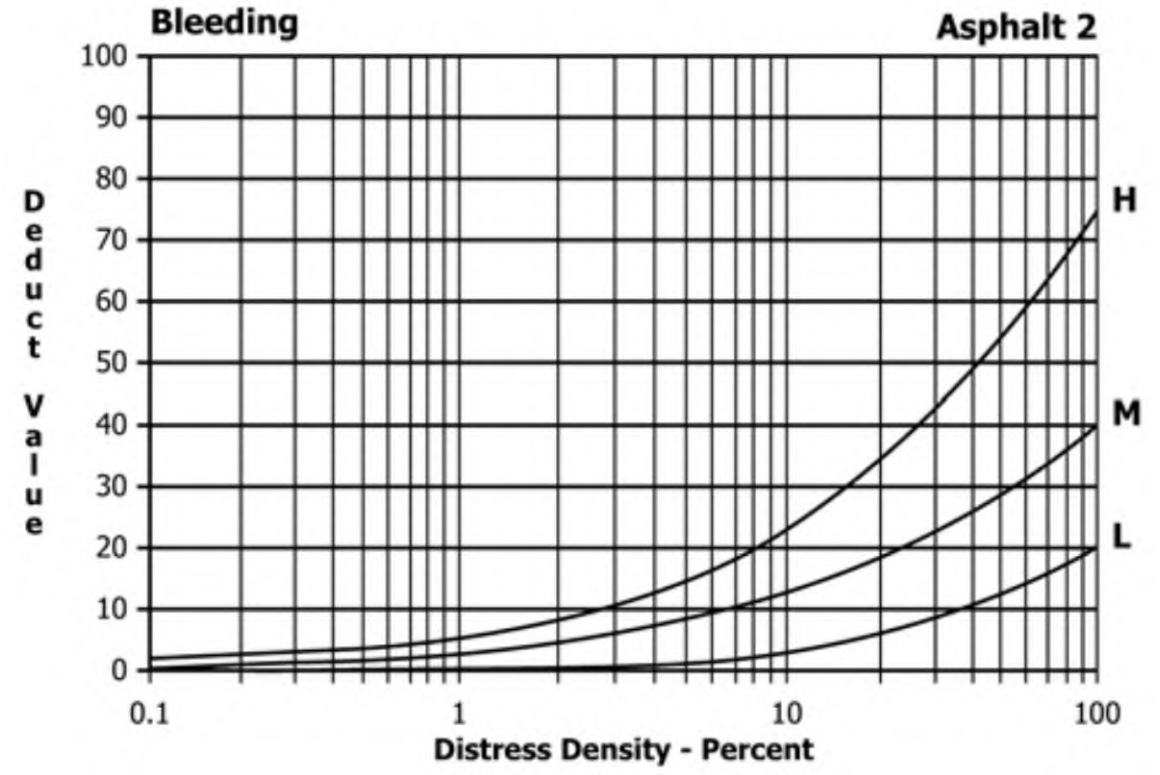
3) คำนวณ Severity ในแต่ละประเภทความเสียหาย
   - ในการศึกษานี้ที่ปรึกษาเลือกใช้ค่ากลาง (Medium Severity) สำหรับหาค่า Deduct Value ของความเสียหายทุกประเภท
4) หาค่า Deduct Value (DV) ของความเสียหายแต่ละประเภทจากกราฟความเสียหายแต่ละประเภท

- รอยแตกต่อเนื่อง/รอยแตกไม่ต่อเนื่อง

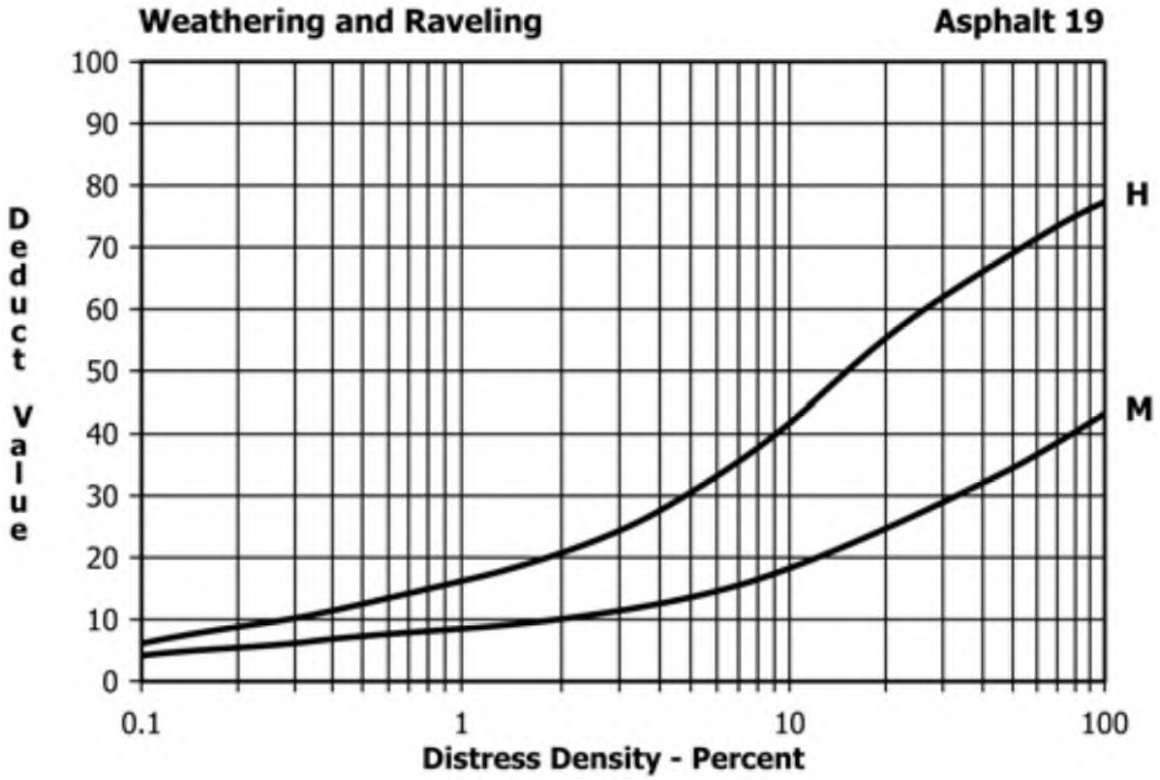


รูปที่ 1 Deduct Value ของประเภทรอยแตกต่อเนื่อง/รอยแตกไม่ต่อเนื่อง

- การเยิ้มของลาดยาง

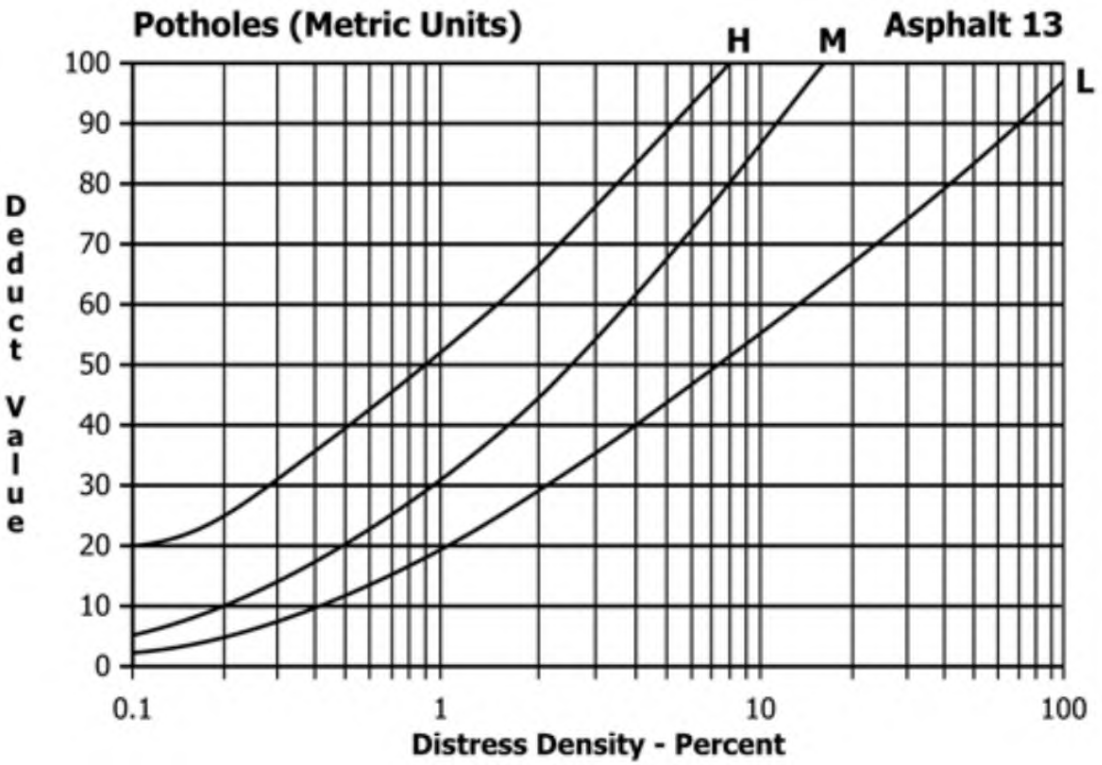


รูปที่ 2 Deduct Value ของประเภทการเยิ้มของลาดยางผิวทางหลุดร่อน



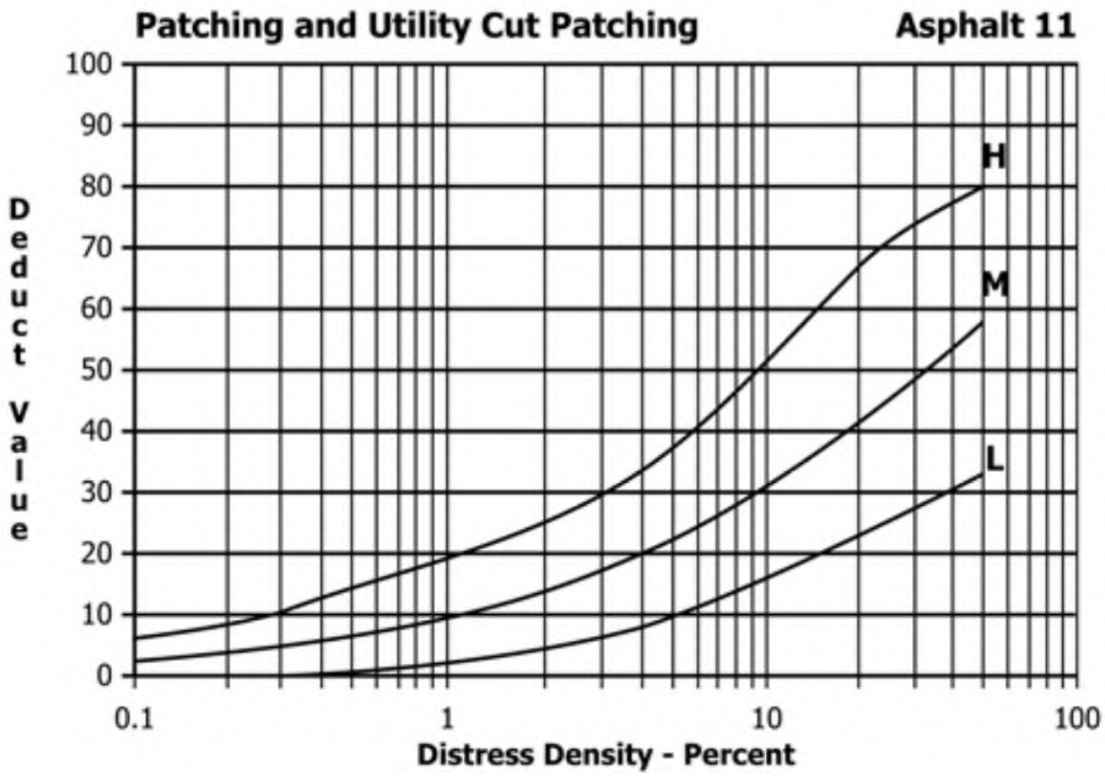
รูปที่ 3 Deduct Value ของประเภทผิวทางหลุดร่อน

- หลุมบ่อ



รูปที่ 4 Deduct Value ของความเสียหายประเภทหลุมบ่อ

- รอยปะซ่อม



รูปที่ 5 Deduct Value ของความเสียหายประเภทรอยปะซ่อม

5) หาค่า Corrected Deduct Value (CDV) โดยพิจารณาจากขั้นตอนต่อไปนี้

5.1) หาค่า q โดยการหาจำนวนประเภทความเสียหายที่มีค่า Deduct Value มากกว่า 2

5.2) หาค่า m โดยการคำนวณจำนวนที่เป็นไปได้ของ Deduct ดังสมการต่อไปนี้

$$\boldsymbol{m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right)(100 - MaxDV) \leq 5}$$

โดยที่ m คือ จำนวนที่เป็นไปได้ของ Deduct

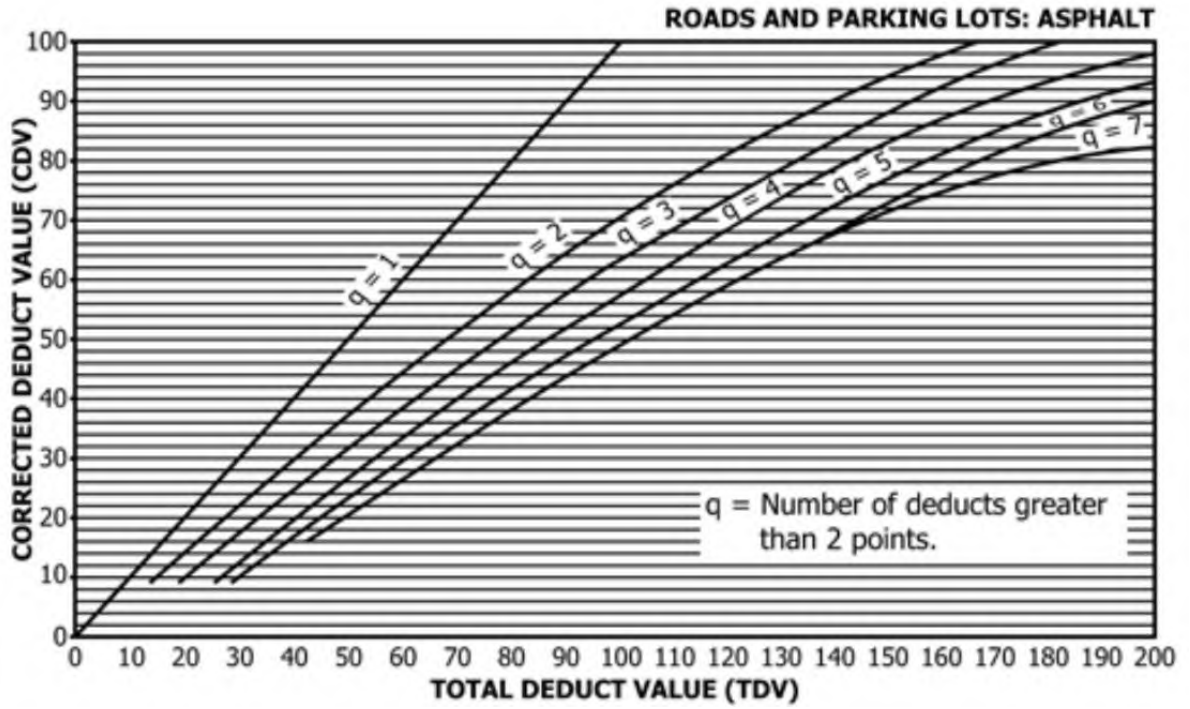
$MaxDV$ คือ ค่า Deduct Value สูงสุดที่คำนวณได้ในขั้นตอนก่อนหน้า

5.3) หาค่า Total Deduct Value โดยการคำนวณผลรวมของ Deduct Value ในทุกประเภทความเสียหาย

5.4) หาค่า CDV จากกราฟ CDV โดยมีเงื่อนไขการอ่านค่ากราฟ ดังนี้

(1) อ่านค่ากราฟจากเส้นกราฟที่มีค่าเท่ากับ q โดยที่ q จะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า m

(2) ในกรณีที่ค่า q มากกว่าค่า m ให้พิจารณาค่า q = m



รูปที่ 6 Corrected Deduct Value ของผิวทางลาดยาง

6) คำนวณค่า PCI จากสมการต่อไปนี้

$$\boldsymbol{PCI = 100 - CDV}$$

2. การคำนวณค่าความเสียหายของผิวทางคอนกรีต

ที่ปรึกษาคำนวณค่าความเสียหายของผิวทางโดยอ้างอิงจากมาตรฐานของ ASTM มีรายละเอียดขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) สรุปค่าความเสียหายของผิวทางที่สำรวจโดยจำแนกเป็นแต่ละประเภทความเสียหาย
2) คำนวณค่า Density ของแต่ละประเภทความเสียหาย ดังสมการต่อไปนี้

$$\boldsymbol{Density = \frac{distress\ amount}{sample\ unit\ area} \times 100}$$

3) คำนวณ Severity ในแต่ละประเภทความเสียหาย
   - ในการศึกษานี้ที่ปรึกษาเลือกใช้ค่ากลาง (Medium Severity) สำหรับหาค่า Deduct Value ของความเสียหายทุกประเภท
4) หาค่า Deduct Value (DV) ของความเสียหายแต่ละประเภทจากกราฟความเสียหายแต่ละประเภท

- รอยแตกตามขวาง

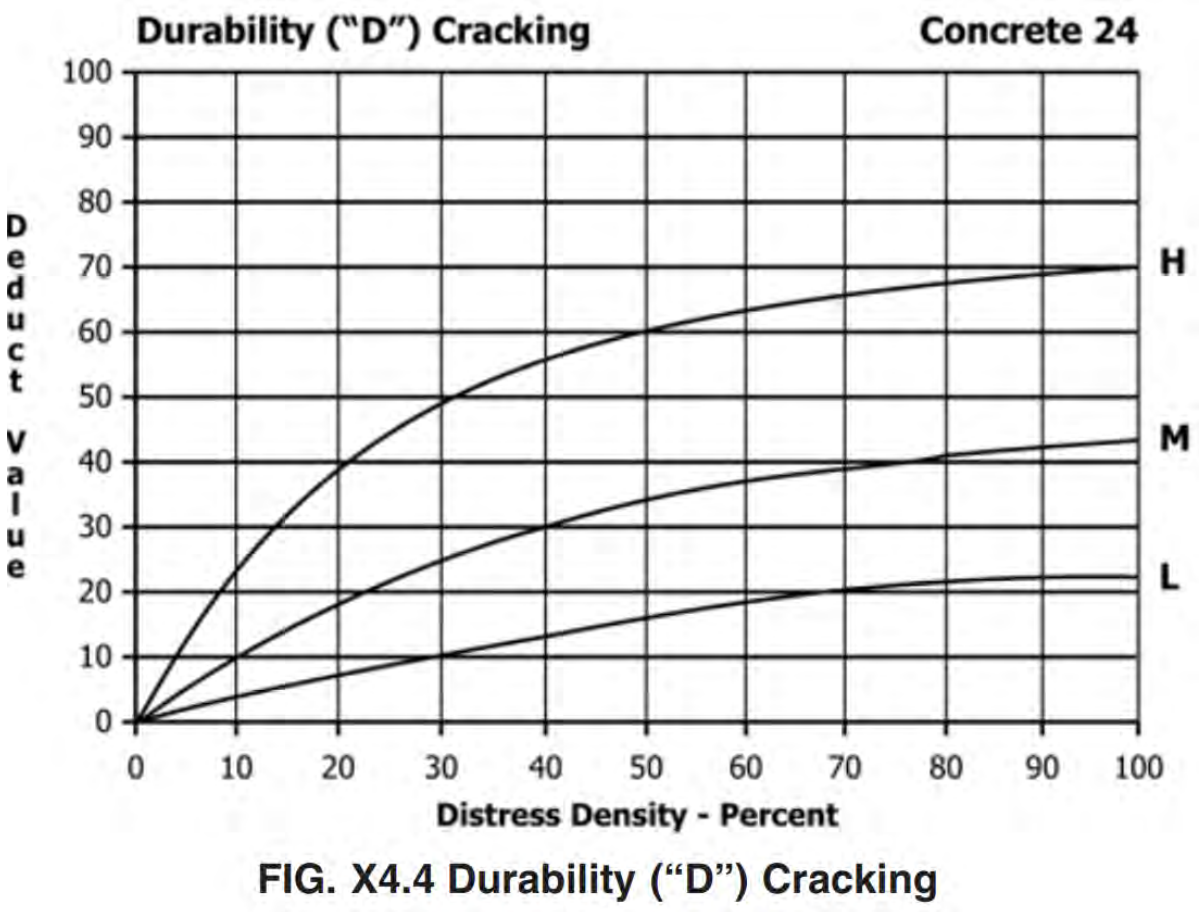
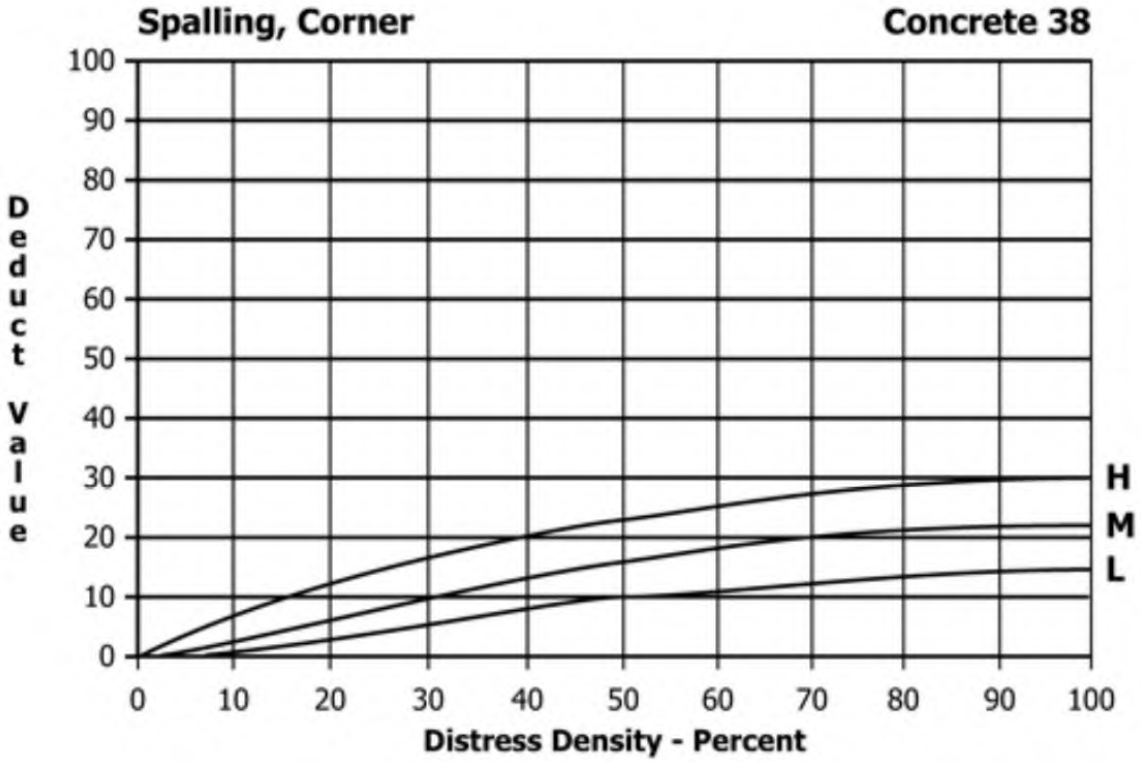


FIG. X4.4 Durability ("D") Cracking

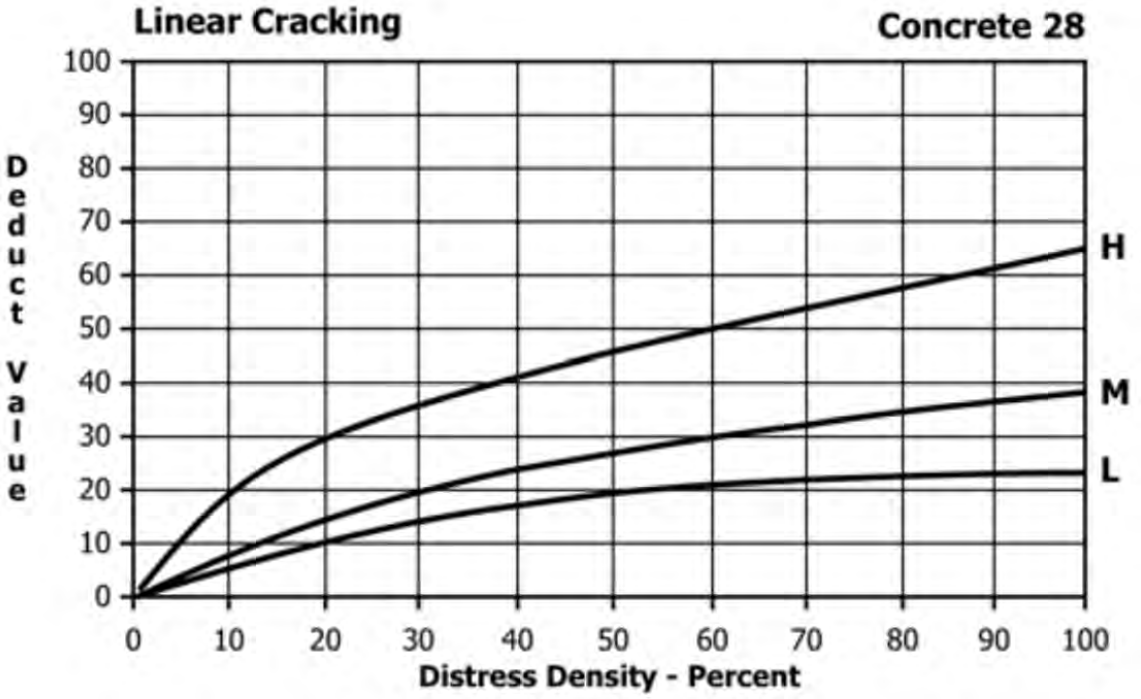
รูปที่ 7 Deduct Value ของประเภทรอยแตกตามขวาง

- รอยบิ่นกระเทาะที่รอยต่อ



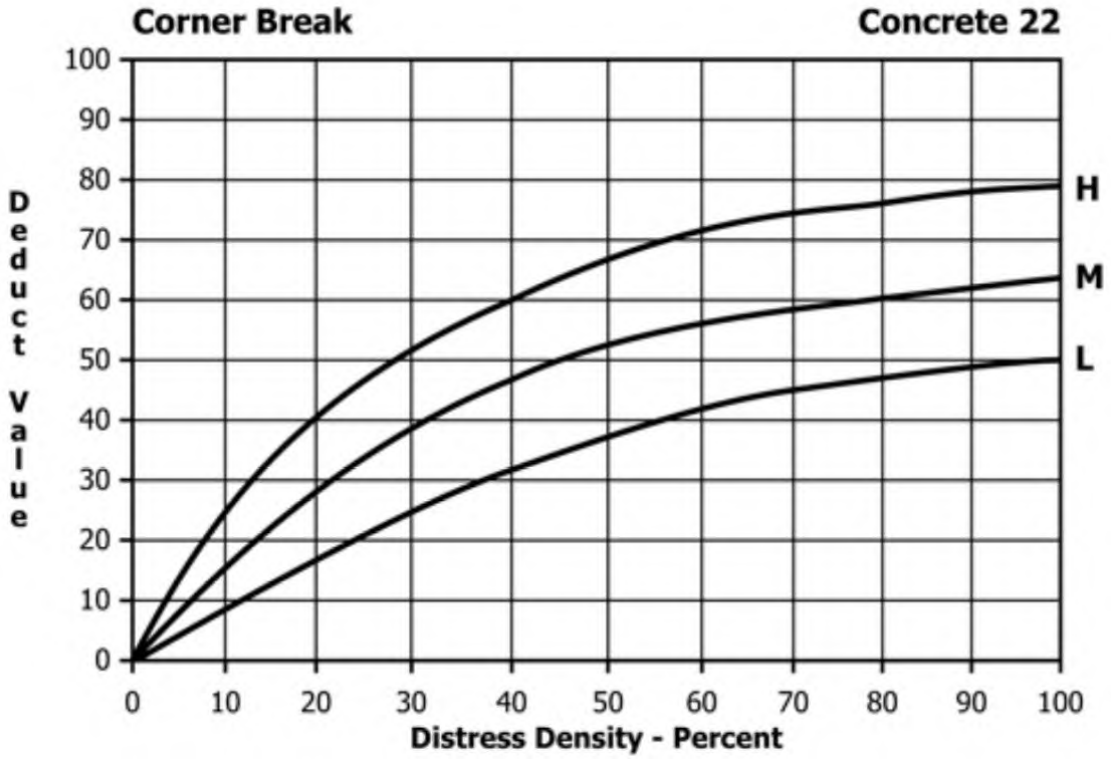
รูปที่ 8 Deduct Value ของประเภทรอยบิ่นกระเทาะที่รอยต่อ

- รอยแตกตามยาว



รูปที่ 9 Deduct Value ของประเภทรอยแตกตามยาว

- รอยแตกตามมุม



รูปที่ 10 Deduct Value ของความเสียหายประเภทรอยแตกตามมุม

- ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ

Joint Seal Damage Concrete 26

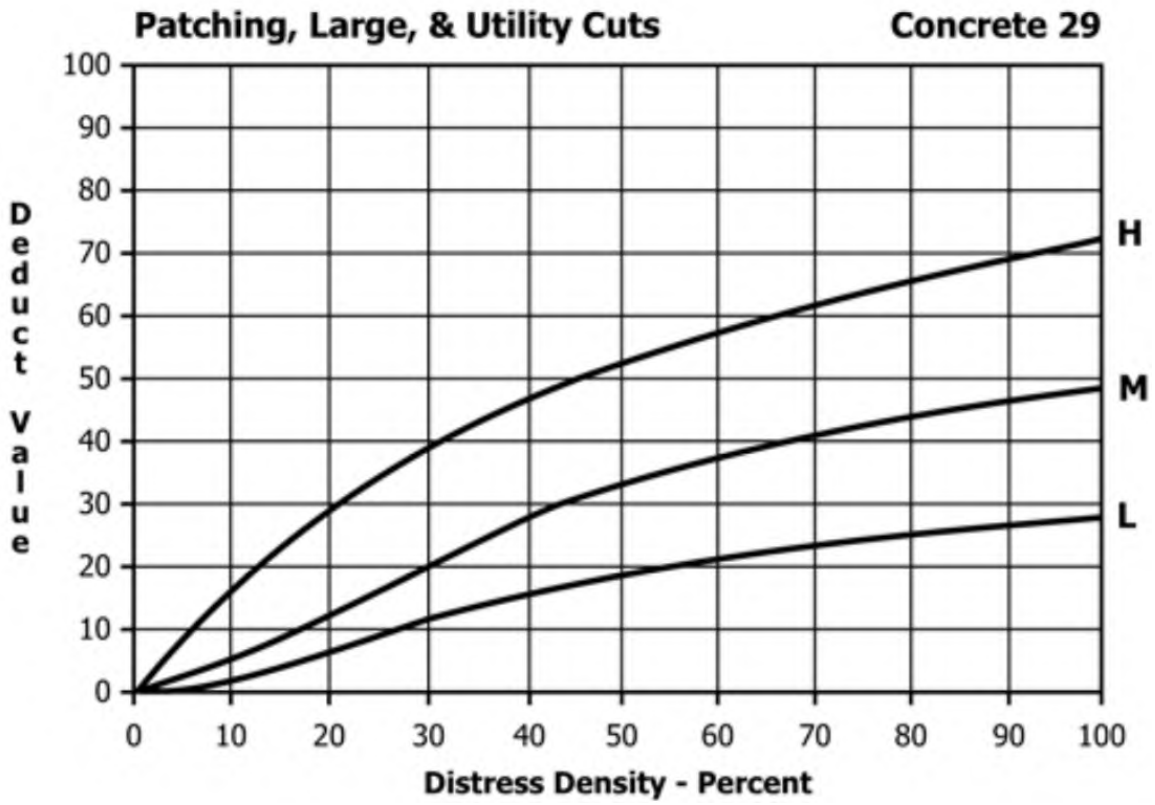
Joint seal damage is not rated by density. The severity of the distress is determined by the sealant's overall condition for a particular sample unit.

The deduct values for the three levels of severity are:

LOW	2 points
MEDIUM	4 points
HIGH	8 points

รูปที่ 11 Deduct Value ของความเสียหายประเภทความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ

- รอยปะซ่อมที่เสียหาย



รูปที่ 12 Deduct Value ของความเสียหายประเภทรอยปะซ่อมที่เสียหาย

5) หาค่า Corrected Deduct Value (CDV) โดยพิจารณาจากขั้นตอนต่อไปนี้

5.1) หาค่า q โดยการหาจำนวนประเภทความเสียหายที่มีค่า Deduct Value มากกว่า 2

5.2) หาค่า m โดยการคำนวณจำนวนที่เป็นไปได้ของ Deduct ดังสมการต่อไปนี้

$$\boldsymbol{m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right)(100 - MaxDV) \leq 6}$$

โดยที่ m คือ จำนวนที่เป็นไปได้ของ Deduct

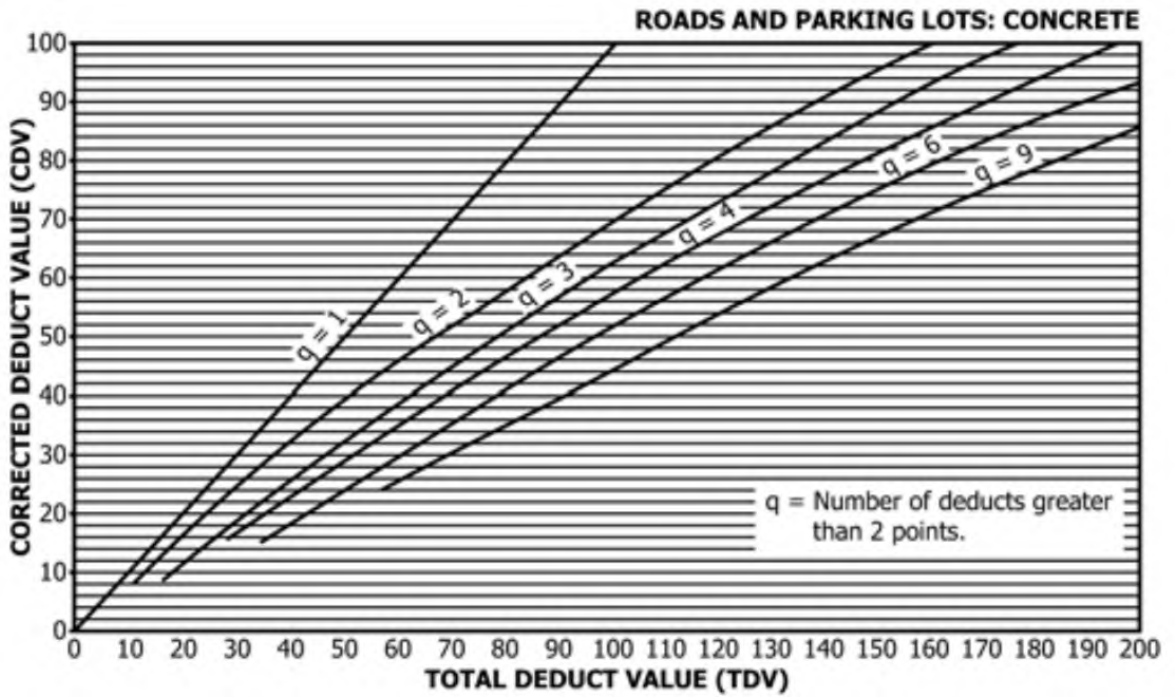
$MaxDV$ คือ ค่า Deduct Value สูงสุดที่คำนวณได้ในขั้นตอนก่อนหน้า

5.3) หาค่า Total Deduct Value โดยการคำนวณผลรวมของ Deduct Value ในทุกประเภทความเสียหาย

5.4) หาค่า CDV จากกราฟ CDV โดยมีเงื่อนไขการอ่านค่ากราฟ ดังนี้

(1) อ่านค่ากราฟจากเส้นกราฟที่มีค่าเท่ากับ q โดยที่ q จะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า m

(2) ในกรณีที่ค่า q มากกว่าค่า m ให้พิจารณาค่า q = m



รูปที่ 13 Corrected Deduct Value ของผิวทางคอนกรีต

6) คำนวณค่า PCI จากสมการต่อไปนี้

$$\boldsymbol{PCI = 100 - CDV}$$

3.3 พิจารณาให้ค่าน้ำหนักสำคัญเกณฑ์รองในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญของความเสียหายของผิวทางคอนกรีต (Concrete)

เกณฑ์	ค่าคะแนนเปรียบเทียบ																	เกณฑ์
	<<< เกณฑ์ด้านซ้ายมือ มีความสำคัญมากกว่า								สำคัญเท่ากัน	เกณฑ์ด้านขวามือ >>> มีความสำคัญมากกว่า								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
(1) รอยแตกตามขวาง (Transverse Cracks)																		(2) รอยบิ่นกระเทาะที่รอยต่อ (Spalling)
(1) รอยแตกตามขวาง (Transverse Cracks)																		(3) รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)
(1) รอยแตกตามขวาง (Transverse Cracks)																		(4) รอยแตกตามมุม (Corner Cracks)
(1) รอยแตกตามขวาง (Transverse Cracks)																		(5) ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ (Joint Seal Damage)
(1) รอยแตกตามขวาง (Transverse Cracks)																		(6) รอยปะซ่อมที่เสียหาย (Patching)
(2) รอยบิ่นกระเทาะที่รอยต่อ (Spalling)																		(3) รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)
(2) รอยบิ่นกระเทาะที่รอยต่อ (Spalling)																		(4) รอยแตกตามมุม (Corner Cracks)

3.3 พิจารณาให้ค่าน้ำหนักสำคัญเกณฑ์รองในการประเมินเพื่อจัดลำดับความสำคัญของความเสียหายของผิวทางคอนกรีต (Concrete) (ต่อ)

เกณฑ์	ค่าคะแนนเปรียบเทียบ																เกณฑ์
	<<< เกณฑ์ด้านซ้ายมือ มีความสำคัญมากกว่า								สำคัญเท่ากัน	เกณฑ์ด้านขวามือ >>> มีความสำคัญมากกว่า							
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
(2) รอยบิ่นกระเทาะที่รอยต่อ (Spalling)																		(5) ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ (Joint Seal Damage)
(2) รอยบิ่นกระเทาะที่รอยต่อ (Spalling)																		(6) รอยปะซ่อมที่เสียหาย (Patching)
(3) รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)																		(4) รอยแตกตามมุม (Corner Cracks)
(3) รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)																		(5) ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ (Joint Seal Damage)
(3) รอยแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)																		(6) รอยปะซ่อมที่เสียหาย (Patching)
(4) รอยแตกตามมุม (Corner Cracks)																		(5) ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ (Joint Seal Damage)
(4) รอยแตกตามมุม (Corner Cracks)																		(6) รอยปะซ่อมที่เสียหาย (Patching)
(5) ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ (Joint Seal Damage)																		(6) รอยปะซ่อมที่เสียหาย (Patching)



สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

ร่วมกับ

บริษัท อินฟรา พลัส จำกัด